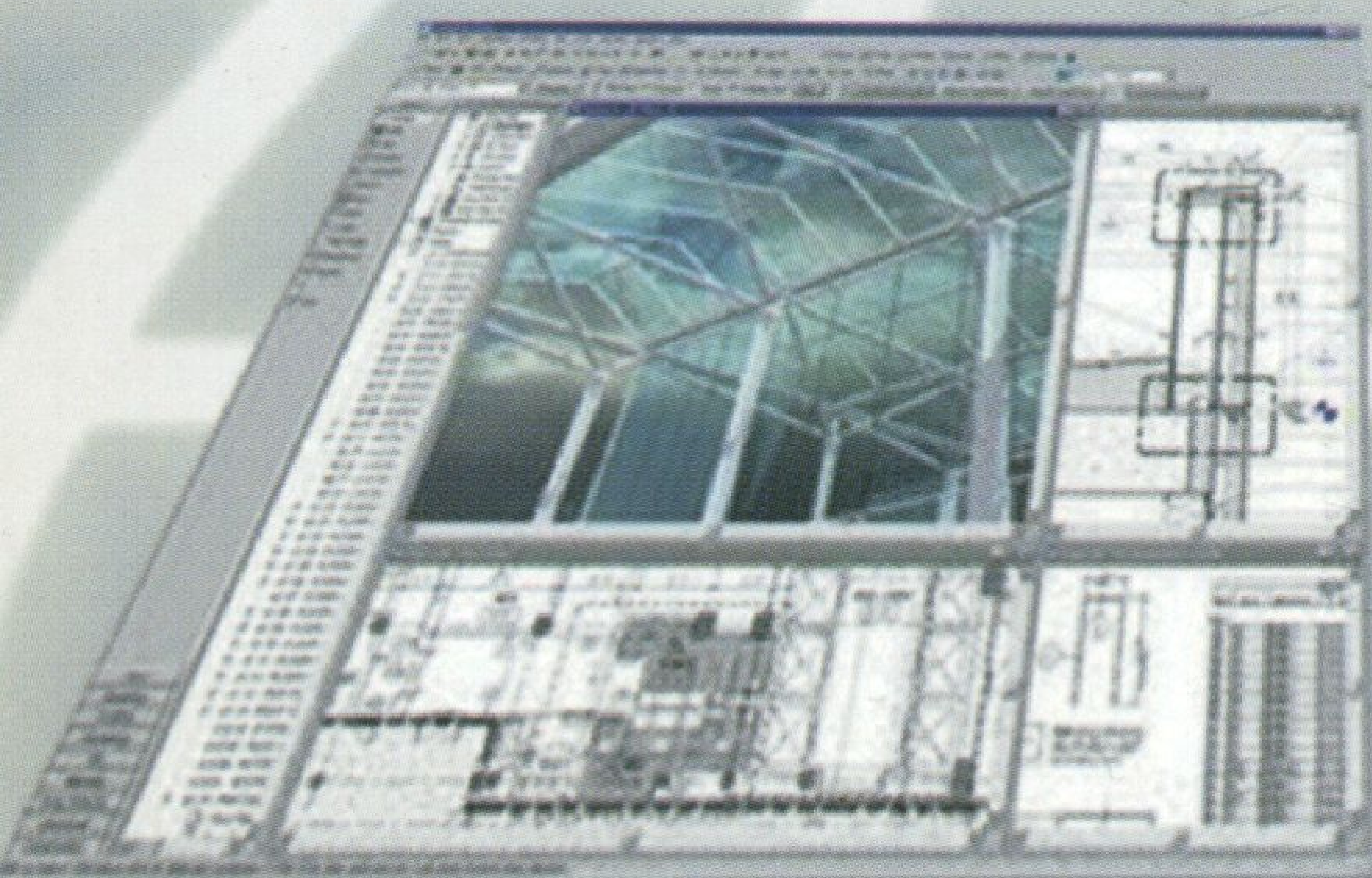
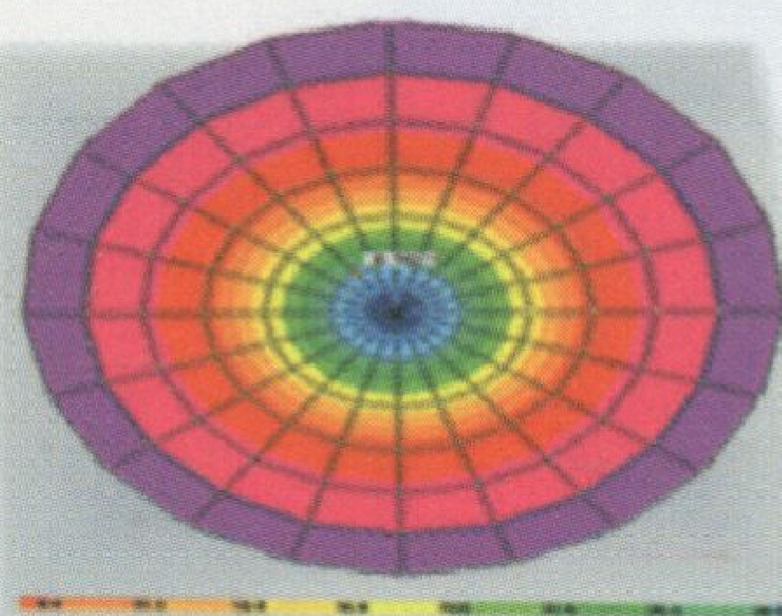
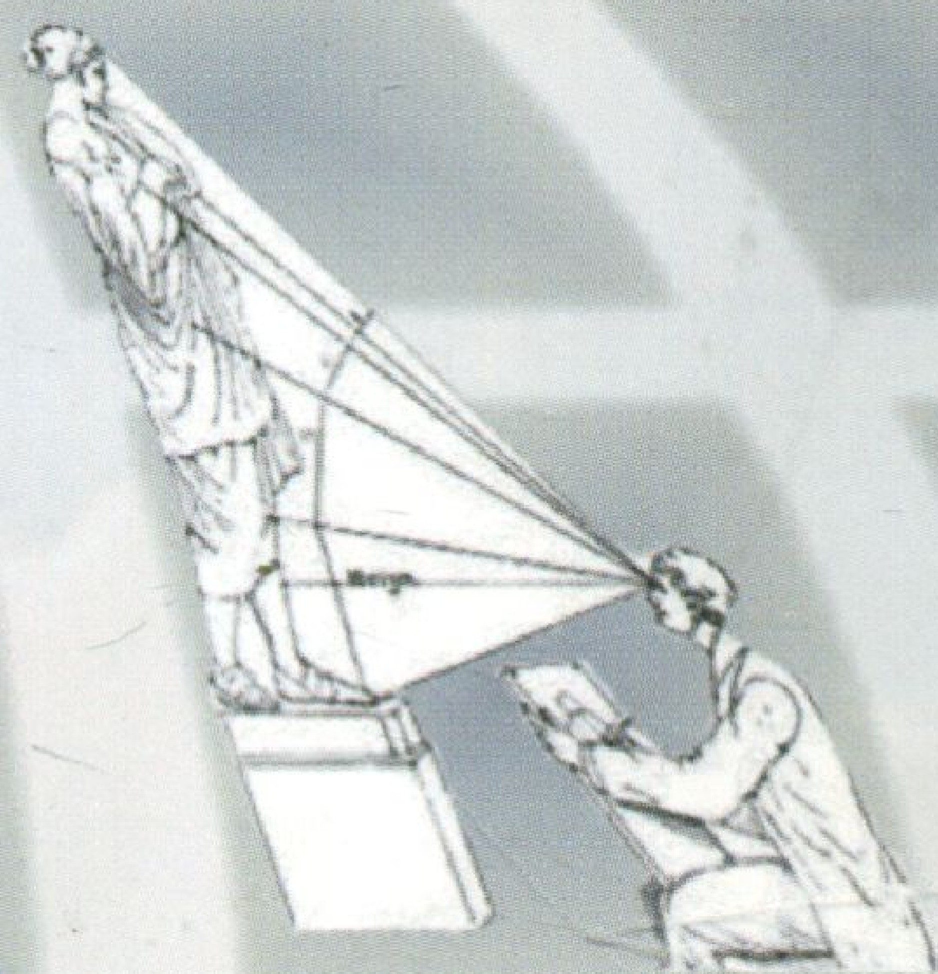
تصميم الأساسات

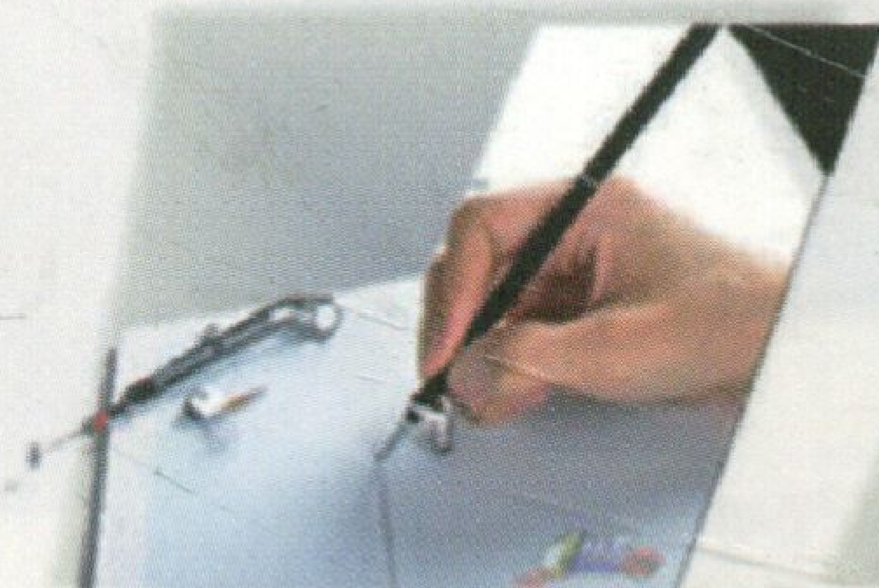
بالطرق التقليدية وبرامج الحاسب الآلي











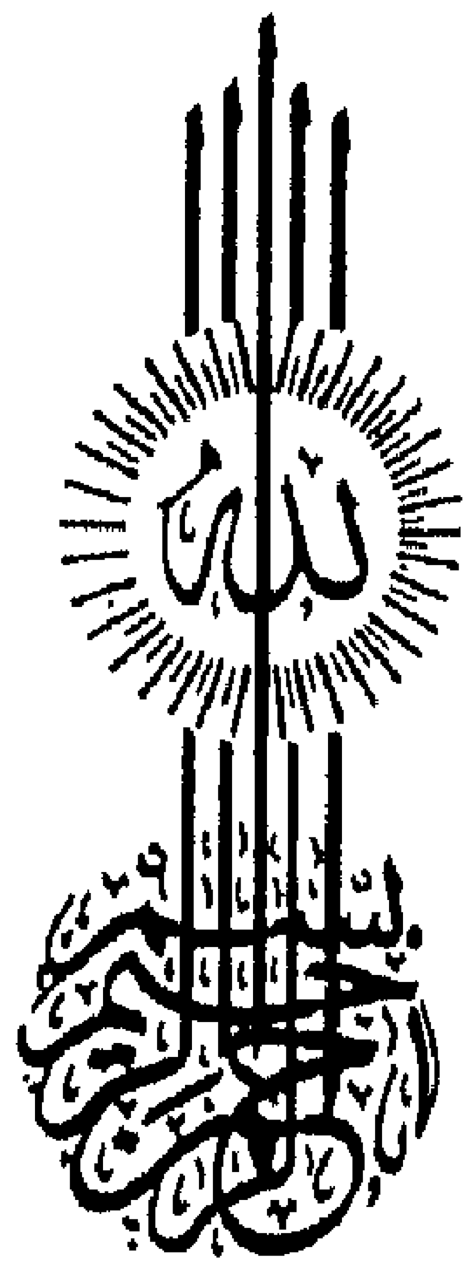
تأليف

د. مصطفى كمال بدرة



جامعة الملك سعود

النشر العلمي و المطابع



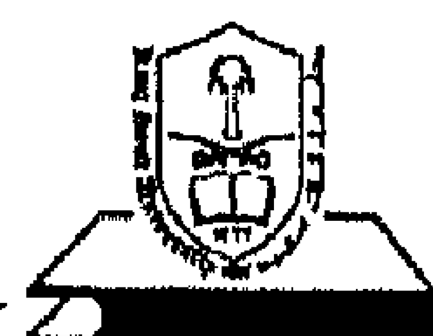
تصميم الأساسات بالطرق التقليدية وبرامج الحاسب الآلي

تأليف

د. مصطفى كمال بدرة

أستاذ الهندسة المدنية المساعد

جامعة الدمام (الملك فيصل سابقاً)



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

بدرة ، مصطفى كمال.

تصميم الأساسات بالطرق التقليدية وبرامج الحاسب الآلي./ مصطفى كمال بدرة - الرياض، ١٤٣٣هـ.

٤٠١ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٠ - ٩٣٦ - ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨

١- الأساسات ٢- هندسة الإنشاءات ٣- المباني أ. العنوان

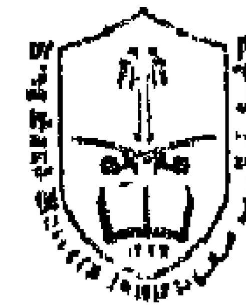
ديوي ٦٢٤,١٥ ١٤٣٣/٣٨

رقم الإيداع: ١٤٣٣/٣٨

ردمك: ٠ - ٩٣٦ - ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة وقد وافق المجلس العلمي على نشره بعد اطلاعه على تقارير المحكمين في اجتماعه السادس عشر للعام الدراسي ١٤٣١/١٤٣٢هـ، الذي عُقد بتاريخ ١٤٣٢/٥/٢٧هـ، الموافق ٢٠١١/٥/١م.

يعتذر النشر العلمي عن عدم وضوح بعض المعادلات لهذا الكتاب لورودها من المؤلف



النشر العلمي والمطابع ١٤٣٣هـ

إهداء

إلى من شجعتني وكانت لي خير معين على إتمام هذا الجهد :

"زوجتي ريم"

تمهيد

يتعلق تصميم الأساسات بعوامل متعددة ، منها ما يتعلق بخواص وطبيعة التربة ، ومنها ما يتعلق بخواص ونوع النظام الإنشائي للمنشأ ونوع الأساس والأحمال المؤثرة عليه. يتناول هذا الكتاب تحليل وتصميم الأساسات بما يخص المهندس الإنشائي ، حيث يقدم الكتاب وصفا لكل نوع من أنواع الأساسات ، ومن ثم يتم مناقشة الطرق التقليدية المستخدمة لتصميمه ، وكذلك الطرق الحديثة باستخدام الحاسب. يتميز الكتاب بتغطيته وبنهج عصري معظم أنواع الأساسات التي يمكن أن يتعرض لها المهندس المدني في حياته العملية ، وبتقديمه مسائل مختارة من صميم الواقع العملي مع اعتبار حالات تحميل متنوعة بما فيها الناتجة عن الزلازل والرياح وكيفية التعامل معها مع تقديم مقارنة بين الطرق للوصول إلى الحل الأدق والطريقة الأكثر كفاءة.

الكتاب مؤلف من ثمانية فصول وأربع مجموعات من الملاحق. الفصل الأول يعرض مفاهيم أساسية وعامة تتعلق بالأساسات بشكل عام ، الفصل الثاني يناقش تصميم القواعد المنفصلة ويعرض سبعة أمثلة تطبيقية ، الفصل الثالث يناقش تصميم الأساسات الشريطية ويعرض سبعة أمثلة تطبيقية ، الفصل الرابع يناقش تصميم القواعد المشتركة ويعرض أربعة أمثلة تطبيقية والفصل الخامس يناقش تصميم أساسات

الحصيرة ويعرض خمسة أمثلة تطبيقية، الفصل السادس يناقش تصميم أساسات الأوتاد ويقدم ثلاثة أمثلة تطبيقية، الفصل السابع يناقش تصميم الحوائط الساندة وجدران الأقبية ويقدم ثلاثة أمثلة تفصيلية، والفصل الثامن يعرض بشكل موجز توصيات لتنفيذ بعض أنواع الأساسات مع الصور الملتقطة من مواقع الإنشاء. أما الملاحق A1-A6 فهي ملاحق تقنية رافد للنص الأصلي، الملاحق B1-B5 تشرح بخطوات تفصيلية طريقة نمذجة أمثلة مختارة محلولة باستخدام البرامج وبعض برامج التصميم الإنشائي، الملاحق C1-C10 تعرض رسومات مخططات التسليح لأمثلة متنوعة مختارة، وأخيرًا الملحق D1 يضم جدولاً بمحتويات القرص المدمج المرفق الذي يحتوي ملفات النماذج التحليلية للأمثلة المحلولة.

أسلوب الكتاب مبسط قدر الإمكان مع التركيز على الناحية العملية دون إهمال الناحية النظرية، وقد تم اعتماد الكود الأمريكي لتصميم الخرسانة المسلحة ACI 318-2008. الكتاب موجه إلى طلبة كليات الهندسة المدنية بالجامعات والمراكز التعليمية، وللمهندسين المدنيين العاملين في المكاتب والشركات الهندسية في مجالات التصميم والإشراف والتنفيذ. أخيرا يأمل المؤلف أن يجد الزملاء المهندسون والأخوة الطلاب في هذا الكتاب عونًا لهم في تحمل أعبائهم للرقي بمستوى المهنة لمواجهة التحديات في صناعة الإنشاء.

الهدف من الكتاب وطريقة الاستفادة منه

الهدف من هذا الكتاب هو تقديم وعرض مبادئ تصميم الأساسات بمختلف أنواعها باستخدام الطرق التقليدية التي تعتمد على ميكانيكا الإنشاءات والهندسة الجيوتكنيكية، وباستخدام الطرق المعتمدة على الحاسب الآلي في ظل التطور الحالي الكبير لاستعمال البرامج الحاسوبية والتغيرات في كودات التصميم والأنظمة الإنشائية. يقدم الكتاب أمثلة عملية متنوعة وضعت بمتناول أيدي طلبة وخريجي الهندسة

الإنشائية والمدنية، وترميمًا لجسر الفجوة بين المبادئ النظرية والتطبيق العملي ويحاول المؤلف مراعاة التوازن بين القيمة الأكاديمية للنص وتسليط الضوء على الواقع العملي. يعرض الكتاب العديد من المسائل المتنوعة (٢٩ مسألة منها ١٦ مسالة محلولة باستخدام الحاسب) مع تقديم الحل بأكثر من طريقة ومقارنة النتائج للوصول إلى التوصيات. حسب رغبة وخبرة القارئ، يمكن الاستفادة من الكتاب بثلاث طرق:

أولاً: القارئ المتقن لاستخدام برامج تحليل التصميم الإنشائي: يمكن قراءة الكتاب بشكل متسلسل مع ممارسة الأمثلة التطبيقية بالاستفادة من نص الكتاب والقرص المدمج المرفق.

ثانيًا: القارئ الملم بشكل أساسي فقط باستخدام برامج التصميم الإنشائي: يفضل الابتداء بقراءة ومحاولة تطبيق الأمثلة التفصيلية الوارد شرحها في مجموعة الملاحق B1-B4 ومن ثم قراءة فصول الكتاب بشكل متسلسل مع ممارسة الأمثلة التطبيقية في الفصول، ومتابعة المدخلات والمخرجات بالاستفادة من القرص المدمج الملحق.

ثالثًا: يمكن استخدام الكتاب كمرجع لحل مسألة معينة، ويستفاد في هذه الحالة من قائمة المحتويات وكشاف الموضوعات للبحث عن موضوع معين أو مثال مشابه، وكذلك الجدول رقم (١,٧).

المؤلف

الرموز العامة ودلالاتها

Frequently-used Notations

Notation	دلالة الرمز (عربي)	الوحدة	الرمز
Reinforcement area	مساحة التسليح	cm^2	A_s
Stress of soil cohesion	إجهاد تماسك التربة	KN/m^2	c
Effective depth of base Distance between piles	الارتفاع الفعال للقاعدة التباعد بين الأوتاد	m	d
Pile diameter	قطر الوتد	m	D
Dead, Live load cases	حالة الحمل الميت ، الحي	-	D, L
Height of soil till the bottom of RC footing	منسوب التأسيس (عمق التربة إلى أسفل القاعدة المسلحة	m	D_f
Earthquake load case in x, y directions	حالة حمل الزلازل بالاتجاه x, y	-	Ex, Ey
Concrete characteristic compressive strength	المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط	MPa	f'c
Steel yield strength	إجهاد خضوع الحديد	MPa	f_y
Height of RC footing	ارتفاع الأساس	m	h
Modulus of sub-grade reaction	معامل رد فعل التربة	KN/m^3	K_s
Ultimate bending moment	عزم الانحناء الحدي	KN.m	M_u
Bending moment about x, y axis	عزم الانحناء المؤثر على الأساس	KN.m	Mx, My
Force applied on foundation	القوة المؤثرة على الأساس	KN	P

Notation	دلالة الرمز (عربي)	الوحدة	الرمز
Soil pressure resultant (1.0 m slice) on a wall	محصلة ضغط التربة على جدار ساند (لشريحة بعرض 1.0 m)	KN	P_a
Stress of soil reaction	إجهاد رد فعل التربة	KN/m²	q
Soil allowable bearing capacity	التحمل المسموح للتربة	KPa	q_a
Net allowable soil bearing capacity	التحمل المسموح الصافي للتربة	KPa	q_{an}
Ultimate stress of soil reaction	إجهاد رد فعل التربة الحدي	KN/m²	q_u
Pile load capacity	تحمل الوتد المسموح	KN	Q_{all}
Allowable concrete shear strength	مقاومة القص المسموحة للخرسانة	KN	V_c
Ultimate shear force	قوة القص الحدية	KN	V_u
Angle of reaction for soil Strength reduction factor	زاوية احتكاك التربة معامل تخفيض المقاومة	cent-grade -	ϕ
Concrete weight of volume	كثافة الخرسانة	KN/m³	γ_c
Weight of volume for soil	كثافة التربة	KN/m³	γ_{soil}
Reinforcement ratio	نسبة التسليح	-	ρ

تحويلات مهمة

Important unit factor conversions

1 KN = 1000 N, 1 MN =1000 KN = 1000000 N
1 Pa = 1 N/m², 1 KPa = 1 KN/m² =1000 N/m²
1MPa = 1000KPa =1000000 N/m²
1 KN ≈ 100Kgf*
1KPa ≈ 0.1 tonf*/m² or 0.01 Kgf/cm²
1MPa ≈ 10 Kgf/cm²
1Kg/cm² = 10 tonf/m²
1psi** = 0.145 KN/m²

* Kgf, tonf (Kg force, ton force)
** psi (pound or lb. per square inch)

المحتويات

Contents

الفصل الأول

مفاهيم أساسية وعامة
BASIC & GENERAL CONCEPTS

(١,١) استكشاف التربة وتحري الموقع
Soil Exploration & Site Investigation

يستلزم تصميم وإنشاء أي مشروع من منشآت الهندسة المدنية دراسة وتحري تربة موقع هذا المشروع وفهم خصائصها وصفاتها الهندسية، وحسب أهمية المشروع تكون دراسة التربة دقيقة وشاملة أو أساسية، إن أهم البيانات المطلوبة من دراسة وتحليل التربة هي:

١- بيانات لتحديد طبقات التربة في الموقع وصفات كل منها.

٢- بيانات لتحديد عمق ونوع الأساسات.

٣- بيانات لتحديد قدرة تحمل التربة.

٤- معلومات حساب القيمة المتوقعة للهبوط.

٥- موقع المياه الجوفية وتأثيراتها.

٦- تحديد مشاكل التربة بالموقع مثل قابليتها للانتفاخ.

٧- ما يحيط بالأساسات والمبنى، ومعالجة ذلك.

(١,١,١) الخطوات التفصيلية لاستكشاف التربة

١- جمع المعلومات الأساسية المتاحة : أبعاد وتباعدات الأعمدة ، أحمال الأعمدة وعدد الطوابق ، المواصفات المحلية ونظام الضابطة العمراني.

٢- استطلاع الموقع : يجب معرفة الطبوغرافيا العامة للموقع ، خطوط المرافق (كهرباء، مياه، مجاري)، معرفة التربة وطبقاتها من خلال فحص الحفر ودراسة عينات الجسات ، دراسة المياه الجوفية ، أنواع وحالة المنشآت القريبة (إن وجدت).

٣- جسات التربة Boreholes : الجسة هي ثقب رأسي ينفذ في موقع المنشأ المراد إنشاؤه بغرض الحصول على عينات من التربة ؛ لدراستها والتعرف على طبيعة طبقات التربة ومواصفاتها ، ويتم تنفيذ الجسات باستخدام آلة سبر التربة.

(١,١,٢) توزيع وعدد الجسات Number and Layout of Boreholes

يتوقف توزيع وعدد ومكان الجسات على نوع المنشأ وحجمه والغرض منه ، والحد الأدنى من الجسات قد يكون ثلاث أو اثنتين في حال التربة المتجانسة ، ويتم توزيع الجسات بشكل قطري في حال كون عددها اثنتين أو ثلاث أو على الزوايا والمركز في حال كونها خمسًا ويمكن الحرص على وضع جسة بجوار القواعد ذات الأحمال الكبيرة. أما عمق الجسة فيحدد حسب حجم المنشأ وأحماله وخواص التربة ومدى انتظامها ، وتلعب خبرة الدارس الجيوتكنيكي دورًا مهمًا في ذلك. يظهر الجدول رقم (١,١) مثالين واقعيين يحتويان على معلومات عن الجسات (عددًا وعمقًا) ومواصفات التربة لمبنيين مختلفين.

الجدول رقم (١,١). مثالان لعدد وعمق الجسات.

توصيف المبنى	مساحة المبنى الطابقية (m^2)	عدد الجسات	عمق الجسة (m)	نوع التربة	التوصيات
ثلاثة أدوار من الخرسانة المسلحة	1600	5	ثلاث بعمق 10 واثنتان بعمق 15	رملية متوسطة الكثافة	نظام الأساسات: منعزلة وشريطية تحمل التربة: 150 KPa
ثمانية أدوار من الخرسانة المسلحة	1900	6	ثلاث بعمق 15 وثلاث بعمق 20	رملية مخلخلة	نظام الأساسات: أوتاد خرسانة صب بالمكان مواصفات الوتد: طول 14 m، قطر 80 cm وتحمل مسموح 1600 KN

(١,٢) تصنيف التربة
Soil Classification

الغاية من تصنيف التربة هو تقسيمها إلى مجموعات رئيسة وجزئية بناء على الصفات الهندسية للتربة، مثل التدرج الحبيبي grain-size distribution، حد الرطوبة liquid limit، حد اللدونة plastic limit. النظامان الرئيسان المستخدمان حاليًا في تصنيف الترب هما:

١- نظام آشتو AASHTO System، وهو معد من قبل الاتحاد الأمريكي للطرق والنقل.

٢- نظام تصنيف التربة الموحد Unified System، وهو صادر عن هيئة المواصفات الأمريكية لاختبارات المواد ASTM.

(١,٢,١) نظام آشتو AASHTO System

تم إعداد هذا النظام أولاً من قبل لجنة هيئة بحوث الطرق لتصنيف المواد والترب والطرق في الولايات المتحدة الأمريكية. بموجب هذا النظام تقسم الترب إلى ثمانية أنواع

(A1-A8) اعتمادا على تدرجها الحبيبي ، وعلى حد الرطوبة ، ودليل اللدونة Plasticity index. الترب المصنفة في المجموعات A1, A2, A3 هي ترب ذات مواد خشنة ، والترب المصنفة في المجموعات A4, A5, A6, A7 هي ترب ذات مواد ناعمة ، والتربة ذات المواد العضوية تصنف تحت المجموعة A8 ، يبين الجدول رقم (١,٢) المجموعات الأساسية لتصنيف التربة حسب نظام آشتو.

الجدول رقم (١,٢). المجموعات الأساسية حسب تصنيف آشتو لأنواع التربة.

المجموعة	A-1 A-1-a, A-1-b	A2 A2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7	A-3	A-4, A-5	A-6, A-7	A-8
نوع المادة	حجر وحصى ورمل	حصويات طينية أو سيلتية ورمل	رمل ناعم	تربة غالبها سيلتي	تربة غالبها طيني	تربة ذات درجة عضوية عالية

(١,٢,٢) النظام الموحد Unified System

يعد هذا النظام من أكثر الأنظمة المستخدمة حاليًا في تصنيف التربة ، يستخدم النظام الموحد بعض الرموز لتصنيف التربة ، مثال ذلك التربة ذات التصنيف GW هي التربة الحصوية جيدة التدريج Well-graded gravel ، GP-GM تربة حصوية سيئة التدرج مع سيلت Poorly-graded gravel with silt ، يظهر الجدول رقم (١,٣) رموز المجموعات لكل أقسام التربة في هذا التصنيف. الأقسام الرئيسة للتربة في هذا النظام ثلاثة :

١- التربة ذات الحبيبات الخشنة Coarse-grained soil.

٢- التربة ذات الحبيبات الناعمة غير العضوية Fine-grained soil (inorganic).

٣- التربة ذات الحبيبات الناعمة العضوية Fine-grained soil (organic).

الجدول رقم (١,٣). رموز المجموعات حسب التصنيف الموحد للتربة.

قسم التربة الرئيسي	التربة ذات الحبيبات الخشنة	التربة ذات الحبيبات الناعمة غير العضوية	التربة ذات الحبيبات الناعمة العضوية
رموز المجموعات ضمن القسم	GW, GP, GM, GC, GC-GM, GP-GM, GP-GC, SW, SP, SM, SC, SC-SM, SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC	ML, CL, CL-ML, MH, CH	OL, OH

(١,٣) تحمل التربة المسموح
Allowable Bearing Capacity

تحسب قدرة تحمل التربة الكلية Ultimate bearing capacity بناء على عوامل عديدة تتعلق بتماسك التربة، زاوية احتكاكها، عرض الأساس، عمق الأساس، شكل الأساس ونوع الأساس وعوامل أخرى. أما تحمل التربة المسموح فيحسب من التحمل الحدي بقسمته على معامل أمان Safety Factor يتراوح عادة من ٢-٥ مع مراعاة كون هبوط الأساس وفق حدود مسموحة، ويتضمن الجدول رقم (١,٤) قيما نموذجية لتحمل بعض أنواع التربة. أما التحمل المسموح الصافي فهو التحمل المسموح مطروحا منه وزن عمود التربة من سطح الأرض إلى منسوب التأسيس (منسوب أسفل الأساس):

$$q_a = q_u / SF \quad (1.1)$$

$$q_{an} = q_a - \gamma_{soil} D \quad (1.2)$$

حيث إن:

q_a التحمل المسموح.

q_u التحمل الحدي.

SF معامل الأمان.

q_{an} التحمل المسموح الصافي.

γ_{soil} وزن واحدة الحجم للتربة.

D ارتفاع التربة من سطح الأرض إلى منسوب التأسيس.

الجدول رقم (١,٤). قيم نموذجية لتحمل التربة المسموح لبعض أنواع التربة.

نوع التربة	Soil Type	التحمل المسموح Kg/cm^2	التحمل المسموح KPa
رمل مخلخل	Loose sand	0.7-1.4	70-140
رمل متوسط إلى كثيف	Firm sand	1.5-3	150-300
رمل ناعم كثيف جدًا	Dense sand	4-6	400-600
طين طري	Soft clay	0.3-0.6	30-60
طين قاسي	Firm clay	0.7-1.2	70-120
طين قاسي جدًا	Stiff clay	1.2-2	120-200
صخر متعرض إلى العوامل الجوية بشكل جزئي	Partially weathred rock	3-10	300-1000
تربة رملية بحصية خليطة	Mix of gravel & sand	2-7	200-700

(١,٤) معامل رد فعل التربة
Modulus of Sub-grade Reaction

في حال خضوع أساس معين إلى ضغط معين (قوة على سطح) فإنه سيتعرض إلى هبوط معين ويختلف مقدار هذا الهبوط من تربة إلى أخرى، ويكون أقل كلما زادت مقاومة التربة، ويمكن التمييز بين الترب باستخدام معامل رد فعل التربة الذي يعرف وفق المعادلة التالية :

$$K_s = q / \Delta \quad (1.3)$$

حيث إن :

K_s معامل رد فعل التربة مقدرًا بـ KN/m^3.

q ضغط الحمل مقدرًا بـ KN/m^2.

Δ الهبوط مقدرا بالمتر.

يتم تحديد قيمة K_s وفق تجربة حقلية تسمى تجربة تحميل الصفيحة Plate load test ، وهي عبارة عن تطبيق حمل ذي ضغط q على صفيحة مربعة بأبعاد 30 x 30 cm وقياس الهبوط الناتج Δ لاستنتاج K_s من المعادلة (1.3) ومن ثم تعدل قيمة K_s الناتجة عن تجربة الصفيحة حسب شكل وأبعاد الأساس. في حال عدم تحديد قيمة لمعامل رد فعل التربة Modulus of sub grade reaction بناء على تجارب حقلية فيمكن استخدام المعادلة التقريبية التالية التي تربط معامل رد فعل التربة بتحمل التربة (Bowles, 2003)

$$K_s = 40 \times SF \times q_a \quad (1.4)$$

حيث إن :

SF معامل الأمان Safety factor المستخدم في حساب تحمل التربة (يأخذ غالباً القيمة ٣).

q_a تحمل التربة المسموح allowable bearing capacity مقدرا بـ KPa.

K_s معامل رد فعل التربة مقدرا بـ KN/m^3.

يبرر استخدام هذه المعادلة بأن قيمة معامل رد فعل التربة غير حساسة بالنسبة لقيم الجهود الداخلية internal actions في الحصيرة، ويبين الجدول رقم (١,٥) بعض القيم النموذجية Typical values لمعامل رد فعل التربة بالنسبة لبعض أنواع الترب.

الجدول رقم (١,٥). قيم معامل رد فعل التربة K_s لبعض أنواع الترب [6].

نوع التربة	رملية (جافة أو رطبة ولكن غير مغمورة)			طينية		
	مخلخلة	متوسطة الكثافة	كثيفة	قاسية	قاسية جدًا	متصلبة
K_s (KN/m^3)	8000-25000	25000-125000	125000-375000	12000-25000	25000-50000	>50000

(١,٥) تقرير ميكانيكا التربة
Soil Mechanics Report

يحتوي عادة تقرير ميكانيكا التربة على معلومات جسات التربة (عدد الجسات، وعمق كل جسة، وأماكن الجسات)، وكذلك على طبيعة ونوع طبقات التربة على ضوء نتائج الجسات وعمق البساط المائي. كذلك يحتوي تقرير التربة على قيمة تحمل التربة، وعمق التأسيس المطلوب، والهبوط النسبي وربما معامل رد فعل التربة. في حال التأسيس على أوتاد يعطي تقرير التربة طول وقطر الأوتاد والتحمل المحوري المسموح Safe vertical capacity لكل وتد بالإضافة إلى بعض المعلومات عن مجموعات الأوتاد Pile groups. يمكن أن يعطي التقرير عدة خيارات لتأسيس التربة وفق أعماق مختلفة، وقيم تحمل مسموح مختلفة. يوصي تقرير التربة باتباع نظام تأسيس معين أو عدة اختيارات بأنظمة تأسيس، كأن يوصي بالتأسيس على قواعد منفصلة والربط بكمرات أرضية (ميدات)، أو يوصي بأساسات حصيرة. يمكن أن يوصي التقرير باستبدال التربة الحالية لمنطقة المشروع بتربة أخرى محسنة على عمق مناسب وبأبعاد معينة، أو استخدام خرسانة عادية أو مغموسة تحت الأساس المسلح. وفي حال التوصية بتربة محسنة يجب أن يعطي التقرير مواصفات هذه التربة. كذلك يوضح التقرير طريقة الحفر، والعمق المطلوب لنزح المياه dewatering أثناء الحفر والاحتياطات المطلوبة أثناء الحفر.

(١,٦) الأساسات والغرض منها
Foundations & Their Purpose

الأساس هو الجزء السفلي من المنشأ والمتصل بالأرض، وهو العنصر الإنشائي الذي ينقل أحمال المنشأ سواء كانت حية أو ميتة أو غيرها بطريقة آمنة إلى التربة، وتنفذ الأساسات أسفل سطح الأرض، ويمكن أن تنفذ على أعماق من سطح الأرض. تقسم الأساسات إلى نوعين: أساسات سطحية Shallow foundation، وأساسات عميقة Deep foundations. يجب أن تحقق الأساسات الأغراض التالية عند تصميمها وتنفيذها:

١- تتحمل بأمان وزن المنشأ والأوزان الأخرى المعرض لها المنشأ مثل الرياح والزلازل، ...إلخ.

٢- نقل وتوزيع جميع الأحمال إلى مساحة أكبر من التربة.

٣- مقاومة الهبوط تحت تأثير الأحمال، ومقاومة الهبوطات النسبية، ومقاومة انتفاخ التربة.

٤- تحقيق الاستقرار والاتزان للمنشأ ضد الأحمال والتأثيرات المناخية.

٥- مقاومة تأثير المياه الجوفية، والتأثيرات البيئية المحيطة بالأساسات.

(١,٦,١) أنظمة الأساسات السطحية Shallow Foundation Systems

تعرف الأساسات السطحية بأنها أول جزء من المنشأ الخرساني يتم صبه في الموقع فوق تربة التأسيس مباشرةً، ويكون مغموراً بالتربة عادة، ومهمته نقل الأحمال من العناصر الحاملة إلى تربة التأسيس. يجب أن تحقق الأساسات السطحية الشرطين التاليين حتى تكسب المنشأ السلامة والأمان المطلوبين:

١- يجب أن تكون آمنة ضد الانهيار بسبب القص الكلي في التربة Overall shear failure in soil.

٢- ألاّ يتعرض الأساس إلى هبوط زائد غير مسموح.

تنفذ الأساسات السطحية على أعماق قريبة من سطح الأرض، حيث يكون عمق التأسيس أقل من ضعف عرض الأساس، وتعد الأساسات السطحية أكثر اقتصادية من الأساسات العميقة، وينصح باستخدام الأساسات السطحية إلا إذا تعذر ذلك بسبب طبيعة التربة ونوع المنشأ وأحماله فيضطر إلى استخدام الأساسات العميقة. تضم الأساسات السطحية القواعد المنفصلة والأساسات الشريطية والقواعد المشتركة وأساسات الحصائر الجزئية والعامة.

(١,٦,١,١) ملاحظات عامة على دراسة الأساسات السطحية

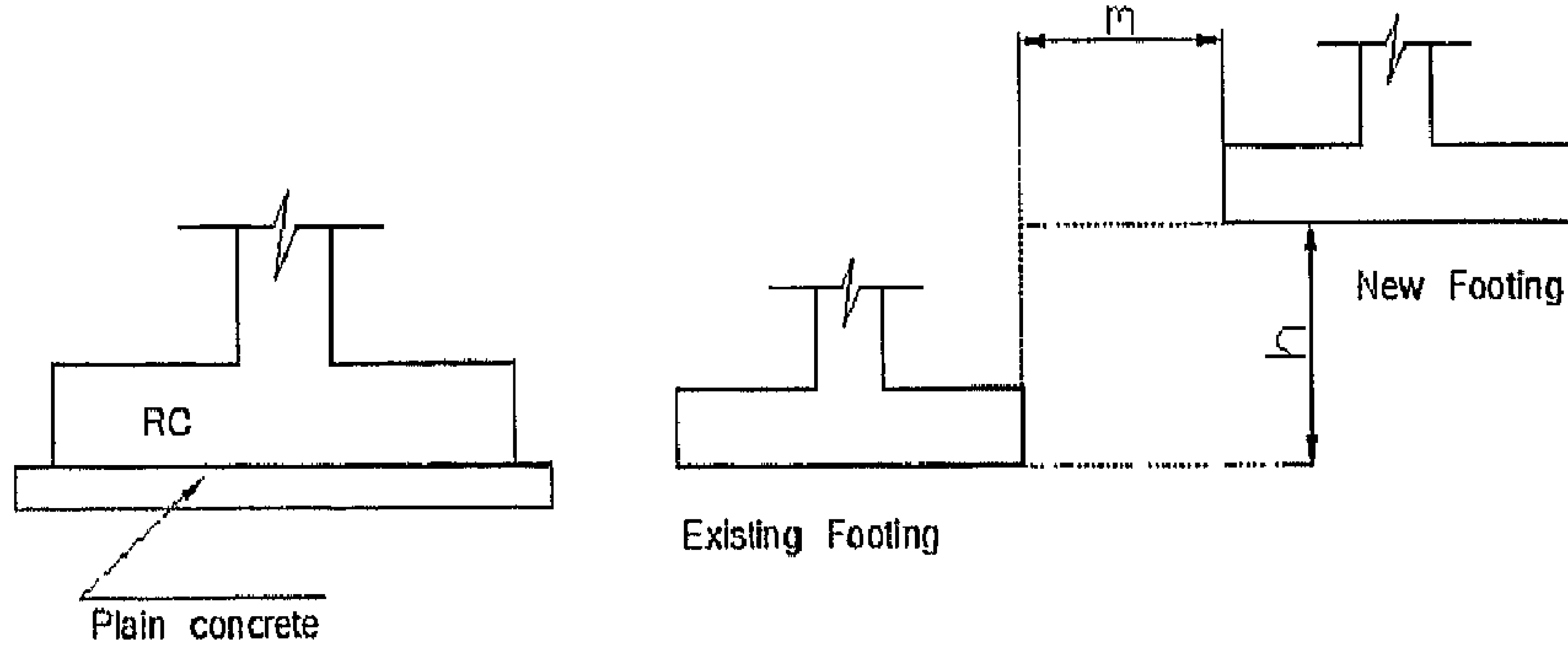
١- يجب وضع طبقة من الخرسانة العادية Plain concrete، وتسمى أيضا فرشة نظافة تحت الأساس وذلك بسماكة ١٠-٢٠ سم، وببروز عن أطراف الأساس ١٠-٢٠ سم، (انظر الشكل رقم ١,١ a).

٢- يجب التأكد من قبل المهندس الجيوتكنيكي من كون الهبوطات الآنية والهبوطات على المدى الطويل ضمن الحدود المسموحة.

٣- دراسة نظام الأساسات على الهبوطات النسبية Differential settlement، وخاصة في التربة القابلة للانهيار Collapsible Soils، وذلك بعمل جسور رابطة Tie beams بالاتجاهين بمقاطع معتدلة الأبعاد وبتسليح كاف.

٤- أفضل أنواع الأساسات لمقاومة الهزات الأرضية هي أساسات الحصيرة Raft Foundation والأساسات الشريطية باتجاهين، ومن أنواع الأساسات الأخرى التي يمكن اعتبارها مناسبة لمقاومة الهزات الأرضية القواعد المنعزلة المربوطة بالاتجاهين بجسور رابطة أو بكمرات أرضية Ground Beams، ويفضل أن يكون منسوب أسفل الكمرات هو منسوب أعلى الأساسات.

٥- في حال إنشاء أساس جديد بجوار أساس قديم فيجب أن يبتعد الأساس الجديد New footing عن الأساس الحالي Existing footing بمسافة : m > h لتجنب تداخل الإجهادات Double stresses ، (انظر الشكل رقم ١,١ b).



الشكل رقم (١,١). ملاحظات متعلقة بالأساسات السطحية: (a) طبقة الخرسانة عادية تحت القاعدة المسلحة، (b) حالة أساس جديد بجوار أساس حالي.

(١,٦,١,٢) أسباب انهيار الأساسات السطحية

١- عدم القيام بدراسة الموقع وأبحاث التربة ، أو الدراسة غير السليمة من حيث عدد الجسات وأعماقها.

٢- التوصيف الخاطئ لتربة الموقع.

٣- التغير المستقبلي في خواص التربة وفي منسوب المياه الجوفية.

٤- الحفر لعمق يزيد عن أعماق أساسات المنشآت المجاورة بدون عمل الاحتياطات اللازمة.

٥- التحميل الزائد على المبنى أو جزء منه.

٦- الهبوط النسبي (التفاضلي) للمبنى.

٧- استخدام أنواع غير مناسبة للأساسات، أو استخدام أساسات بأبعاد غير مناسبة.

٨- صدأ حديد التسليح في الأساسات وتفتت الخرسانة.

٩- تسرب المياه الجوفية ومياه الصرف الصحي إلى الأساسات والكمرات الأرضية والرابطة والحوائط والأرضيات والأقبية.

(١,٦,٢) الأساسات العميقة Deep Foundations

يقصد بالأساسات العميقة الأوتاد التي تستخدم عادة في بعض أنواع التربة وفي بعض المشاريع والتي تكون ذات كلفة عالية إذا ما قورنت بالأساسات السطحية، وفيما يلي بعض الحالات التي تتطلب استخدام نظام التأسيس باستخدام الأوتاد:

١- عندما تكون الطبقة العليا عالية القابلية للانضغاط وضعيفة لنقل الأحمال المعرضة إليها من المنشأ العلوي.

٢- حالات كون القوى الأفقية كبيرة جدًا، مثل المنشآت الحاجزة للتربة، والمباني العالية المعرضة للرياح والهزات الأرضية.

٣- الترب القابلة للانتفاخ التي تمتد إلى أعماق كبيرة حيث إن استخدام أساسات سطحية في مثل هذه الترب يمكن أن يعرض المنشأ للرفع.

٤- أبراج الطاقة والمنشآت العائمة Offshore platforms المعرضة إلى قوى رفع.

(١,٦,٣) اشتراطات عامة للكود ACI 318-08 بما يتعلق بالأساسات وتصميم الخرسانة
General ACI 318-08 Requirements for Foundations & Concrete Design

١- يجب أن تقرر أبعاد ومساحة القواعد والأساسات Base area بناء على الأحمال التشغيلية مثل حالات التحميل D, L, W and E (الميتة، الحية، الرياح والزلازل).

٢- يجب أن تصمم قطاعات الخرسانة بناء على الأحمال القصوى Ultimate loads، انظر الملحق B1.

٣- لا يقل ارتفاع القاعدة فوق الحديد السفلي عن 15 cm للقواعد المستندة على التربة وعن 38 cm للقواعد المستندة على الأوتاد.

٤- نسبة التسليح الدنيا في الأساسات (حسب نوع الحديد):

(1.5) Grade 40 {f_y=40000 psi (276 MPa)}: $\rho_{min} = 0.002$

(1.6) Grade 50 {fy= 50000 psi (345 MPa)}: $\rho_{min} = 0.002$

(1.7) Grade 60 {f_y=60000 psi (414 MPa)}: $\rho_{min} = 0.0018$

٥- نسبة التسليح الدنيا في العناصر الإنشائية الأخرى:

(1.8) Where, f'c, fy (MPa) $\left(0.25\frac{\sqrt{f'c}}{f_y}, \quad 1.4/f_y\right)$ ρ_{min} =Min. of

٦- نسبة التسليح القصوى في الأساسات والعناصر الإنشائية الأخرى من الخرسانة المسلحة تحسب من العلاقة (1.9) (حيث إن $f'c, f_y$ تقدر بـ MPa):

(1.9) $$\rho_{max} = 0.75\,\rho_b$$

(1.10) $$\rho b=\frac{0.85\beta 1 f'c}{f_y}\frac{600}{f_y+600}$$

حيث إن:

$\beta 1=0.85-0.008(f'c-30MPa)\geq 0.65$

(١,٧) تصميم الأساسات باستخدام الحاسب
Computer-aided Design of Foundation

(١,٧,١) أنواع برامج التصميم الإنشائي المستخدمة على نطاق واسع

يمكن تصنيف برامج التحليل والتصميم الإنشائي بمعونة الحاسب، وبرامج التطبيقات الهندسية بمعونة الحاسب Computer-Aided Engineering المستخدمة على نطاق واسع إلى ثلاثة أصناف:

١- برامج عامة ذات أغراض متعددة (إنشائي، تدفق موائع، انتقال حرارة، ...إلخ)، مثل برنامج ABAQUS, ADINA.

٢- برامج متكاملة للتحليل والتصميم الإنشائي، مثل SAP, STAAD, SAFE.

٣- برامج متخصصة إنشائية وغيرها، مثل برنامج PCA MAT لتصميم الحصائر والقواعد المشتركة، وبرنامج Z-SOIL لدراسة الأساسات وتوازن المنحدرات.

(١,٧,٢) برامج تصميم الأساسات

يمكن إعداد برامج لتصميم الأساسات باعتماد لغة برمجية معينة مثل لغة Visual Basic أو باستخدام برنامج الصفائح الممتدة مثل Excel، ويمكن أيضًا استخدام بعض البرامج التجارية لتصميم الأساسات. من البرامج المتكاملة للتحليل والتصميم الإنشائي برنامج SAP، STAAD، وبرنامج SAFE حيث يمكن استخدام هذه البرامج أيضا لتصميم الأساسات وخاصة الحصائر والقواعد المشتركة. تعتمد هذه البرامج على نظرية العناصر المحدودة في تمثيل وتحليل المنشآت، ويمكن للمهندس أن يفضل أحدها عن الآخر حسب نوع المسألة وخبرته باستخدام برنامج معين عن آخر وبشكل عام يسهل تمثيل الحصائر والقواعد المشتركة باستخدام البرنامج SAFE، حيث يقوم البرنامج بتقسيم الشبكة بشكل آلي Automatic mesh فعلى مستخدم البرنامج فقط رسم وإعداد النموذج التحليلي وإدخال بعض المعطيات، ومن ثم يقوم البرنامج بتقسيم الشبكة بشكل آلي والحل. في حالة الحصائر الدائرية والحالات الخاصة الأخرى (مثل الحالات التي تتطلب مضاعفة النوابض المحيطية في أساسات الحصائر) يمكن استخدام برنامج

SAP. بعض البرامج المتخصصة يمكن استخدامها لمسائل معينة ، مثل تصميم قاعدة منفصلة ، تصميم قاعدة مشتركة بعمودين مثل برنامج Prokon وبرنامج Midas ، كذلك تصميم قبعة أوتاد مثل برنامج Midas ، وتستخدم هذه البرامج الطرق التقليدية في الحل. من البرامج المتخصصة أيضا برنامج PCMAT لتصميم الحصائر والقواعد المشتركة ويستخدم طريقة العناصر المحدودة ، ويمتاز بخاصية إلغاء الشد في التربة عن طريق التحليل غير الخطي التكراري Non-linear iterative uplift analysis كما هو الحال في برنامج SAFE. يلخص الجدول رقم (١,٦) أهم ميزات بعض البرامج المستخدمة لتصميم الأساسات على نطاق واسع.

الجدول رقم (١,٦). برامج تصميم الأساسات مع أهم ميزاتها.

البرنامج	نوعه	أهم ميزاته بما يخص الأساسات
DIANA	هندسي عام متعدد الأغراض	حل مشكلات تداخل التربة مع المنشآت
STAAD-Pro	متكامل للتحليل والتصميم الإنشائي	تصميم أساسات القواعد المنفصلة بشكل مباشر بعد إجراء التحليل الإنشائي
SAP 2000	متكامل للتحليل والتصميم الإنشائي	سهولة التعامل مع الأساسات الدائرية ومع الحالات التي تتطلب مضاعفة النوابض المحيطية
PROKON	مجموعة برامج تخصصية	سهل الاستخدام لمسائل محددة مثل تصميم القواعد المنعزلة
SAFE	متخصص بتصميم البلاطات والأساسات	سهولة التعامل لتحليل القواعد المشتركة والحصائر، إجراء تقسيم للشبكة بشكل آلي Autoamtic mesh generator ، آلية إلغاء قوى الشد Non-linear uplift anlysis
Midas	مجموعة برامج تخصصية	سهل الاستخدام لتصميم القواعد المنفصلة وقبعات الأوتاد
PCA MAT	متخصص بتصميم الحصائر والقواعد المشتركة	سهل الاستخدام للمسائل العادية ، عرض رد فعل التربة بشكل تمثيلي ، آلية إلغاء قوى الشد
Z-Soil	متخصص بدراسة التربة	تحليل توازن المنحدرات والتدفقات الجوفية

(١,٧,٣) برامج تصميم الأساسات المستخدمة في الكتاب

تم إعداد النماذج التحليلية لبعض الأمثلة باستخدام بعض برامج التصميم الإنشائي، يبين الملحق BI المبادئ المستخدمة لإدخال المعطيات وتفسير النتائج في حل المسائل، ويبن الجدول رقم (١,٧) قائمة بأمثلة المسائل الواردة في الكتاب بالإضافة إلى البرنامج المفضل استخدامه، وملحق خطوات النمذجة، وملحق مخطط التسليح.

الجدول رقم (١,٧). معلومات أمثلة المسائل الواردة في الكتاب.

م	رقم المثال	الموضوع	البرنامج المفضل استخدامه	خطوات النمذجة	مخطط التسليح
١	(٢,١)	تصميم قاعدة منفصلة مربعة معرضة إلى قوة محورية	–	–	الملحق C1
٢	(٢,٢)	تصميم قاعدة منفصلة مستطيلة معرضة إلى قوة محورية	–	–	الملحق C1
٣	(٢,٣)	تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم (إجهاد ضغط كلي)	–	–	–
٤	(٢,٤)	تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم (إجهاد ضغط جزئي)	–	–	–
٥	(٢,٥)	تحقيق قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزمي انحناء	–	–	–
٦	(٢,٦)	تحقيق قاعدة منفصلة معرضة لقوة جاذبية وزلازل	–	–	–
٧	(٢,٧)	تحقيق قاعدة منفصلة معرضة لقوة وعزمين – لامركزية خارج الثلث الأوسط	SAFE	–	–
٨	(٣,١)	أساس شريطي معرض إلى قوة محورية	–	–	الملحق C1
٩	(٣,٢)	أساس شريطي لجدار قبو	–	–	–
١٠	(٣,٣)	أساس شريطي منتظم لبئر درج (أحمال الجاذبية فقط)	–	–	–
١١	(٣,٤)	أساس شريطي لبئر درج غير منتظم	–	–	–

تابع الجدول رقم (١,٧).

م	رقم المثال	الموضوع	البرنامج المفضل استخدامه	خطوات النمذجة	مخطط التسليح
١٢	(٣,٥)	أساس شريطي تحت صف أعمدة (مقطع T مقلوب)	SAFE	–	الملحق C2
١٣	(٣,٦)	أساس شريطي تحت صف أعمدة (مقطع مستطيل)	SAP	الملحق B2	الملحق C3
١٤	(٣,٧)	أساس شريطي تحت صف أعمدة باتجاهين	SAFE	–	–
١٥	(٤,١)	قاعدة مشتركة مستطيلة الشكل	SAFE	–	الملحق C4
١٦	(٤,٢)	أساس مشترك لعمودين بشكل شبه منحرف	SAFE	–	الملحق C4
١٧	(٤,٣)	أساس مشترك باستخدام جسر رابط	SAFE	–	الملحق C5
١٨	(٤,٤)	أساس مشترك لثلاث أعمدة بخيارين (مقطع مستطيل ومقطع T مقلوب)	SAFE	–	–
١٩	(٥,١)	حصيرة منبسطة	SAP, SAFE	الملحق B3	الملحق C6
٢٠	(٥,٢)	حصيرة نوع "بلاطة مع جسور مقلوبة"	SAFE	–	الملحق C7
٢١	(٥,٣)	حصيرة خزان عالي مربعة الشكل مع تمثيل ارتباط النوابض	SAP	–	–
٢٢	(٥,٤)	حصيرة منشأ صناعي دائرية الشكل	SAP	الملحق B4	الملحق C8
٢٣	(٥,٥)	حصيرة جزئية غير منتظمة	SAFE	–	–
٢٤	(٦,١)	قاعدة عمود على أربعة أوتاد	SAFE	–	الملحق C9
٢٥	(٦,٢)	قاعدة عمود على ثمانية أوتاد	SAFE	الملحق B5	–
٢٦	(٦,٣)	أساس حوائط بيت درج على صف وحيد للأوتاد	SAFE	–	–
٢٧	(٧,١)	جدار ساند كتلي	–	–	–
٢٨	(٧,٢)	جدار ساند كابولي من الخرسانة المسلحة	–	–	الملحق C10
٢٩	(٧,٣)	تصميم جدار قبو	–	–	الملحق C10

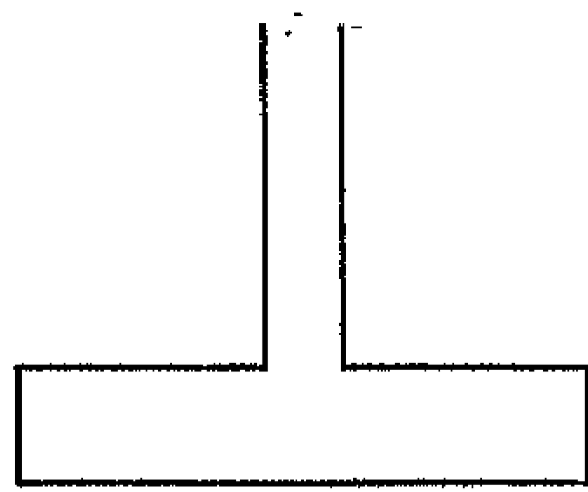
الفصل الثاني

القواعد المنفصلة (المنعزلة)
ISOLATED (SPREAD) FOOTINGS

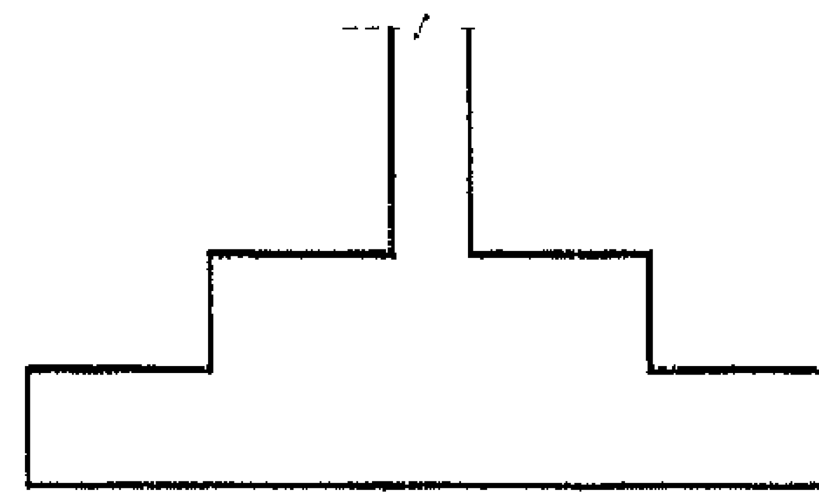
(٢,١) أنواع القواعد المنفصلة
Types of Spread Footings

تعد الأساسات المنفردة Spread or Isolated Footing أكثر أنواع الأساسات شيوعًا؛ وذلك لسهولة تنفيذها وتصميمها، وكونها أقل كلفة إلى حد ما مقارنة مع الأساسات المشتركة أو أساسات الحصيرة. تعمل القواعد والأنواع الأخرى من الأساسات على نشر أو توزيع الحمل من العمود على مساحة القاعدة، ومن ثم إلى التربة، وتكون القواعد غالبًا من الخرسانة المسلحة أو بنسبة ضئيلة من الخرسانة العادية Plain concrete. وينتج عن توزيع حمل العمود إلى القاعدة انحناء القاعدة باتجاهين إلى الأعلى، حيث يكون الشد من الأسفل، وبالتالي تحتاج إلى تسليح رئيس من الأسفل. تأخذ هذه الأساسات غالبًا شكل مستطيل أو مربع ويمكن أن تكون بارتفاع منتظم (مسطحة)، (انظر الشكل رقم ٢,١ a)، أو بارتفاع متدرج (متدرجة) Stepped footing، (انظر الشكل رقم ٢,١ b)، أو على شكل جذع مخروط Conical footing، (انظر الشكل رقم ٢,١ c). يمكن أن تكون القواعد المنفصلة مربعة أو مستطيلة، يلجأ المهندس إلى القواعد المستطيلة في حال محدودية المكان لتجنب تداخل القواعد، وكذلك في حالة

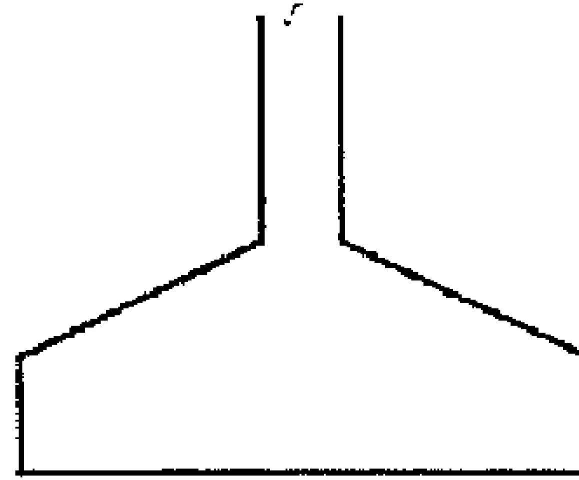
الأعمدة المستطيلة، وأخيرًا في حالة الأعمدة المعرضة لقوة محورية وعزم. يمكن أن تتعرض القاعدة المنفصلة إلى قوة محورية فقط ناتجة عن أحمال الأعمدة المحورية ويمكن أن تتعرض إلى قوة محورية وعزم باتجاه واحد، أو قوة محورية وعزمين باتجاهين. قد تنتج هذه العزوم عن قوى الجاذبية أو عن الأحمال الجانبية.



(a): Spread footing



(b): Stepped footing

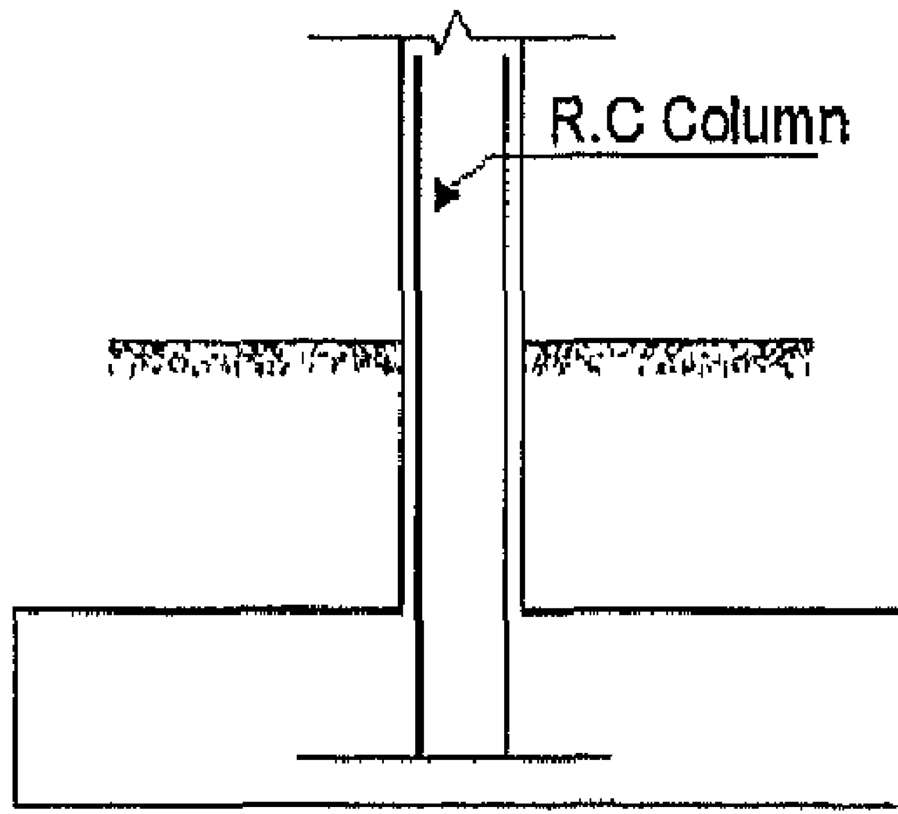


(c): Conical Footing

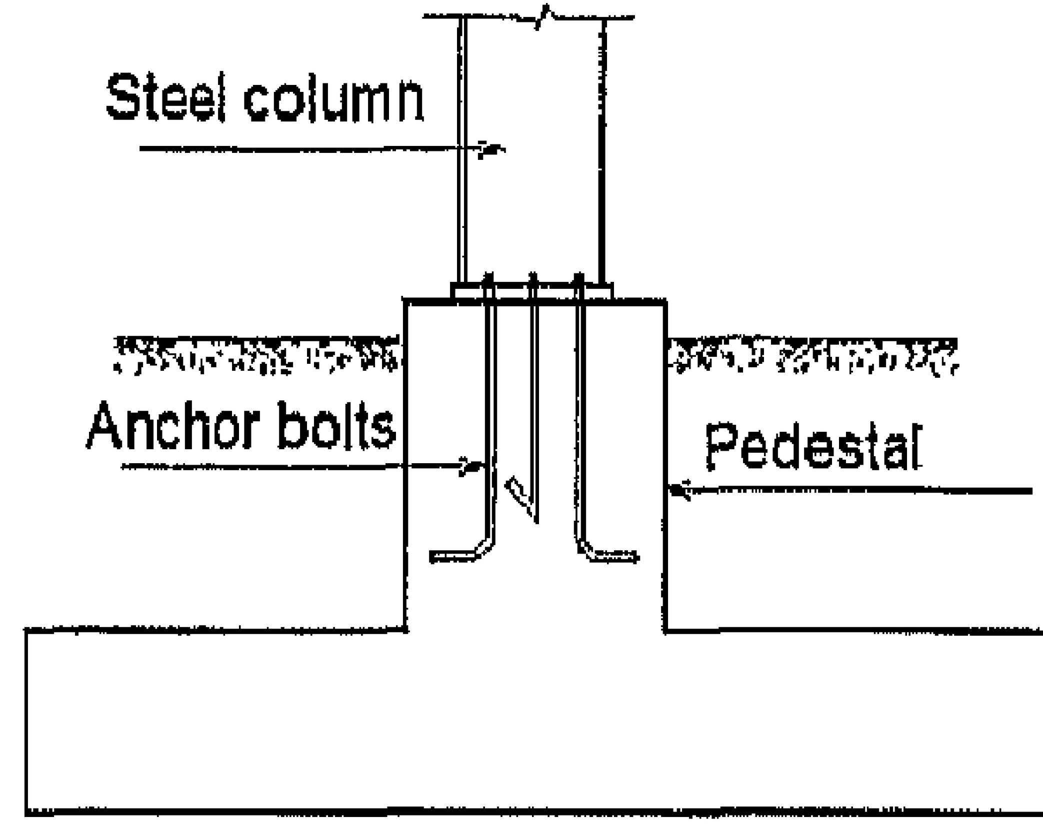
الشكل رقم (٢,١). أنواع القواعد المنفصلة: (a) قاعدة مسطحة، (b) قاعدة متدرجة، (c) قاعدة مخروطية.

يتحدد غالبًا ارتفاع القاعدة حسب مقاومتها لإجهادات القص، حيث لا يوجد تسليح للقص في القواعد المنفصلة وفي حال تجاوز إجهاد القص المسموح يجب على المصمم زيادة ارتفاع القاعدة. يجب تحقيق الارتفاع على القص بالثقب غير المباشر (ثنائي الاتجاه). تتحكم العوامل الجيوتكنيكية والبيئية وأحيانًا المعمارية بعمق أسفل الأساس عن أرضية المبنى Grade level، والذي يسمى منسوب التأسيس. يسبب انتقال حمل العمود (من الخرسانة) إلى القاعدة إجهادات في خرسانة القاعدة وفي الأشاير

التي تزرع في القاعدة وتنغمس ضمن العمود، (انظر الشكل رقم ٢,٢ a). في حالة الأعمدة من الفولاذ يجب وضع صفيحة من الفولاذ أسفل العمود؛ لتوزيع الإجهادات العالية المركزة في العمود على المساحة الضيقة لرقبة العمود Pedestal ومن ثم إلى الأساس. يتم تثبيت صفيحة الفولاذ هذه في رقبة العمود بواسطة براغي إرساء Anchor bolts ترسى بشكل جيد في الخرسانة، (انظر الشكل رقم ٢,٢ b).



(a): Concrete column & footing



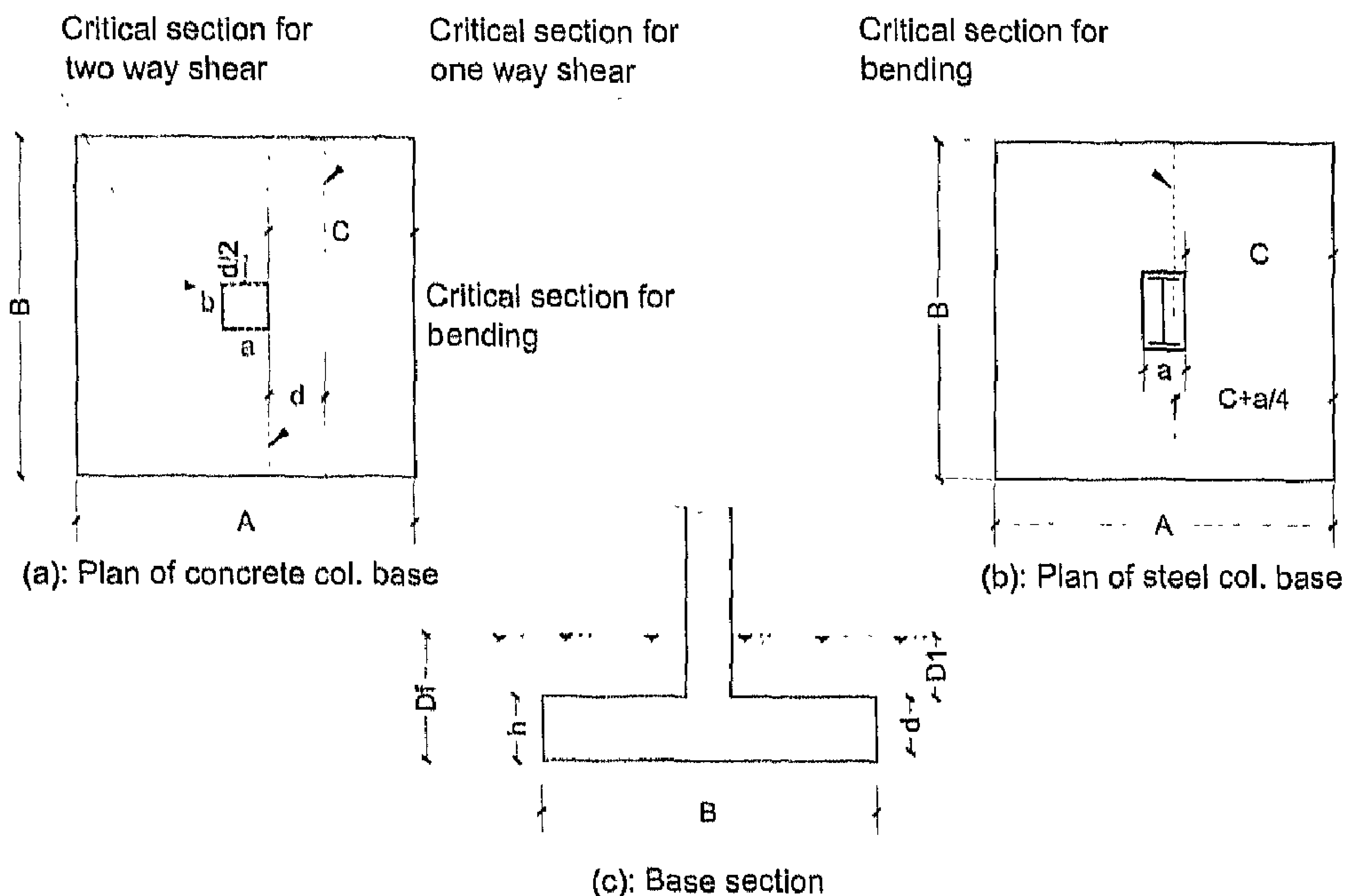
(b): Steel column & footing

الشكل رقم (٢,٢). قاعدة عمود خرساني وقاعدة عمود معدني: (a) قاعدة لعمود من الخرسانة مع إظهار تسليح العمود، (b) قاعدة لعمود معدني مع رقبة من الخرسانة.

(٢,٢) تصميم القواعد المنفصلة المربعة المعرضة لقوة محورية

Design of Square Spread Footings Subject to Normal Force

يبين الشكل رقم (٢,٣ a) مسقطا أفقيا لقاعدة منفصلة مربعة لعمود خرساني والشكل رقم (٢,٣ b) مسقطًا أفقيًا لقاعدة منفصلة مربعة لعمود معدني والشكل رقم (٢,٣ c) مقطعًا رأسيًا في قاعدة مربعة، يتم تصميم القواعد المنفصلة المربعة وفق الإجراء التالي:



الشكل رقم (٢,٣). قاعدة منفصلة مربعة معرضة لقوة محورية: (a) مسقط لقاعدة مربعة لعمود خرساني، (b) مسقط لقاعدة مربعة لعمود معدني، (c) مقطع رأسي في قاعدة.

١ – حساب مساحة الأساس وأبعاده

يتم حساب التحمل الصافي Net allowable bearing capacity من العلاقة التالية، (انظر الشكل رقم ٢,٣ c):

$$q_{an} = q_a - (\gamma_c h + \gamma_{soil} D1) \qquad (2.1)$$

حيث إن:

γ_c هي كثافة الخرسانة (وزن وحدة الحجوم).

γ_{soil} هي كثافة تربة الردم فوق القاعدة.

q_a تحمل التربة.

q_{an} تحمل التربة الصافي.

ومن ثم تتحدد مساحة القاعدة Area وفق العلاقة :

$$Area = \frac{P}{q_{an}} \tag{2.2}$$

ويتم حساب طول وعرض القاعدة A, B وفق العلاقة :

$$A = B = \sqrt{Area} \tag{2.3}$$

حيث إن :

P محصلة القوى الرأسية المؤثرة على الأساس، ويمكن أن تشمل عدة حالات تجميع أحمال تشغيلية (ميتة وحية، ميتة وحية وزلازل، ...إلخ).

في حالة تجميع الأحمال التي تشمل حملا انتقاليا Transitional loading مثل (الرياح أو الزلازل) يمكن زيادة تحمل التربة بمعامل يحدد من قبل الدارس الجيوتكنيكي، ويكون غالبًا 0.25 أو 0.33. في حالة الحصول على الأحمال القصوى فقط، مثل حالات تركيب الأحمال دون معرفة الأحمال التشغيلية. يمكن تحويل الأحمال القصوى إلى أحمال تشغيلية (وذلك لحساب مساحة الأساس) بتقسيم الحمل المركب الأقصى على معامل يحدد حسب كل حالة تركيب بشكل وسطي، انظر الملحق B1.

٢- التأكد من كون ارتفاع الأساس كافيًا لمقاومة القص

يجب تحقيق مقاومة خرسانة الأساس لكل من القص ثنائي الاتجاه Two-way shear والقص أحادي الاتجاه One-way shear، علمًا أنه يمكن أن يكون القص أحادي الاتجاه هو المهيمن أحيانا في القواعد المربعة المحملة لامركزيا. يتحقق ذلك بافتراض قيمة معينة h لارتفاع الأساس والتحقق من أن هذه القيمة كافية لتحقيق

مقاومة الخرسانة على القص ثنائي الاتجاه وعلى القص أحادي الاتجاه دون الحاجة إلى تسليح.

(أ) القص ثنائي الاتجاه Two-way shear، ويدعى أيضًا القص بالشد القطري Diagonal tension shear، وأيضًا القص بالثقب Punching shear، يتم افتراض قيمة معينة لارتفاع الأساس h ولارتفاعه الفعال d ومن ثم يتم تدقيق مقاومة الخرسانة للقص القص ثنائي الاتجاهTwo-way shear. يظهر الشكل رقم (٢,٣ a) حدود المقطع الحرج للقص ثنائي الاتجاه حيث يكون على بعد d/2 (d الارتفاع الفعال Effective depth) من أطراف العمود، يجب تحقيق كون جهد القص الحدي V_u المؤثر على القاعدة أقل من قوة مقاومة الخرسانة الحدية المسموحة V_c Ultimate concrete strength على القص، وذلك وفق العلاقات التالية:

(2.4) $$V_u \le \phi V_c$$

(2.5) V_c is minimum of (i, ii, iii)

$$V_c = (1 + \frac{2}{\beta}) \frac{\sqrt{f'c}}{6} b_0 d \qquad \text{(i)}$$

$$V_c = (\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2) \frac{\sqrt{f'c}}{12} b_0 d \qquad \text{(ii)}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} b_0 d \qquad \text{(iii)}$$

(2.6) $$b_0 = 2(a + d) + 2(b + d)$$

حيث إن :

a, b طول وعرض العمود حسب الشكل رقم (٢,٣ a).

b_0 محيط منطقة التأثير (d/2 من أطراف العمود).

f'c المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط مقدرة بـ MPa.

β نسبة البعد الكبير إلى البعد الصغير للعمود.

α_s تعوض بـ 40، 30، 20 حسب موقع العمود (وسطي، طرفي، ركني) على التوالي

ø =0.75 معامل تخفيض مقاومة الخرسانة على القص.

يتم حساب جهد القص الحدي المؤثر على القاعدة وفق العلاقة (2.7)، وذلك بضرب إجهاد رد فعل التربة الحدي q_u بمساحة القاعدة مطروحًا منه مساحة منطقة التأثير للحمل المركز للعمود وفق ما يلي :

$$V_u = q_u \times [AB - (a+d)(b+d)] \quad (2.7)$$

$$q_u = P_u / (A \times B) \quad (2.8)$$

حيث إن :

A, B طول وعرض القاعدة حسب الشكل رقم (٢,٣ a).

P_u القوة القصوى المؤثرة على الأساس وفق حالات تركيب الأحمال، انظر الملحق BI.

في حالة كون العمود دائريًا بقطر a يعتبر المقطع الحرج للقص مقطعًا دائريًا أيضًا، مركزه مركز العمود وقطره (a+d) أي يكون على بعد d/2 (d الارتفاع الفعال Effective depth) من أطراف العمود كما هو الحال في العمود المربع، أو المستطيل ويكون محيط منطقة التأثير:

$$b_0=\pi(a+d) \quad (2.9)$$

يمكن في حالات خاصة (مثل حالة قاعدة محملة بلامركزية خارج الثلث الأوسط) للتسهيل اعتبار المقطع الحرج مربعًا بمساحة تعادل مساحة القطاع الحرج الدائري، أي يتم تحويل العمود الدائري إلى عمود مربع بمساحة مكافئة Equivalent square، ويكون طول ضلع العمود المكافئ:

$$s=\sqrt{\frac{\pi}{4}a^2}=0.9a \quad (2.10)$$

$$b_0=4(s+d) \quad (2.11)$$

حيث إن:

a قطر العمود.

s طول ضلع المربع المكافئ.

(ب) القص أحادي الاتجاه One-way shear، ويدعى أيضًا قص الكمرة العريضة Wide beam shear، بافتراض h قيمة ارتفاع الأساس، d الارتفاع الفعال، يتم تدقيق مقاومة الخرسانة للقص أحادي الاتجاه One-way shear. يظهر الشكل رقم (٢,٣ a) حدود المقطع الحرج للقص غير المباشر حيث يكون على بعد d (d الارتفاع الفعال Effective depth) من طرف العمود، يجب تحقيق كون جهد القص الحدي V_u المؤثر على القاعدة أقل من قوة مقاومة الخرسانة الحدية المسموحة Ultimate concrete strength V_c على القص، وذلك وفق العلاقات التالية:

$$V_u \le \phi V_c \quad (2.12)$$

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'c}Bd \qquad (2.13)$$

حيث إن :

f'c المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط مقدرة بـ MPa.

ø =0.75 معامل تخفيض مقاومة الخرسانة على القص.

يتم حساب جهد القص الحدي المؤثر على القاعدة وفق العلاقة (2.14)، وذلك بضرب إجهاد رد فعل التربة الحدي q_u بمساحة الجزء المتبقي من الأساس خارج حدود المقطع الحرج للقص على بعد d من طرف العمود :

$$V_u = q_u B(C-d) \qquad (2.14)$$

$$q_u = P_u /(A \times B) \qquad (2.15)$$

حيث إن :

C بعد المقطع الحرج للقص عن طرف العمود، (انظر كذلك الشكل رقم ٢,٣ a).

P_u القوة القصوى المؤثرة على الأساس وفق حالات تركيب الأحمال، (انظر الملحق BI).

٣- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء Flexural reinforcement

يتم حساب عزم الانحناء الحدي Ultimate bending moment عند المقطع الحرج، وهو على وجه العمود المصنوع من الخرسانة، وعند منتصف المسافة الكائنة بين منتصف العمود وطرف صفيحة الاستناد Base plate في حالة العمود المعدني، (انظر الشكل رقم ٢,٣ b) وفق العلاقة :

$$M_u = q_u B\frac{L_u^{\,2}}{2} \qquad (2.16)$$

حيث إن :

M_u عزم الانحناء الحدي.

$L_u=C$ ذراع الرافعة في حالة عمود من الخرسانة.

$L_u=C+a/4$ ذراع الرافعة في حالة عمود معدني مستند على القاعدة مباشرة.

ومن ثم يتم حساب التسليح وفق العلاقات التالية :

$$M_u = \phi b d^2 f'cq(1-0.59q) \qquad (2.17)$$

$$q = \frac{\rho f_y}{f'c}, \qquad \rho = \frac{A_s}{bd} \qquad (i)$$

حيث إن :

$f'c$ المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط ، f_y إجهاد خضوع الحديد.

A_s مساحة مقطع الحديد الطولي لمقاومة عزم الانحناء.

ρ نسبة التسليح في المقطع.

$\phi=0.9$ معامل تخفيض المقاومة على الانحناء.

يمكن إعادة ترتيب العلاقة (2.17) وفق العلاقة (2.18) :

$$\rho = \frac{1}{m}(1-\sqrt{1-2mR_u/f_y}) \qquad (2.18)$$

$$m = fy/(0.85f'_c) \qquad (i)$$

$$R_u = M_u/(0.9Bd^2) \qquad (ii)$$

$$A_s=\rho Bd \qquad (2.19)$$

حيث إن :

B عرض القاعدة.

d الارتفاع الفعال للقاعدة.

مع الانتباه إلى أن نسبة التسليح Reinforcement ratio ρ يجب أن تكون أكبر من الحد الأدنى وأقل من الحد الأعلى طبقًا للفقرة (١,٦,٣).

٤- التحقق من عدم تجاوز مقاومة الخرسانة على الارتكاز Bearing stress

يجب التحقق من عدم تجاوز مقاومة الخرسانة على الارتكاز عند سطح التماس بين المساحة المحملة (مقطع أسفل العمود مثلاً)، والقاعدة وذلك وفق العلاقة (2.20) :

$$P_u < 0.85 \phi f'c A1 \sqrt{A2/A1} \qquad (2.20)$$

$$\phi = 0.65 \qquad (i)$$

$$\text{Limit of } \sqrt{A2/A1} = 2 \qquad (ii)$$

حيث إن :

A1 مساحة التحميل (مساحة العمود أو صفيحة الاستناد).

A2 مساحة نهاية المخروط الافتراضي الذي سطحه العلوي هو مساحة التحميل، ويمتد بالعمق نحو الأسفل بميل قدره 2 أفقي إلى 1 رأسي، وبالمسقط بزوايا 45 درجة من جميع رؤوس مساحة التحميل ويوضع بكامله ضمن الأساس.

ø معامل تخفيض مقاومة الخرسانة على الارتكاز.

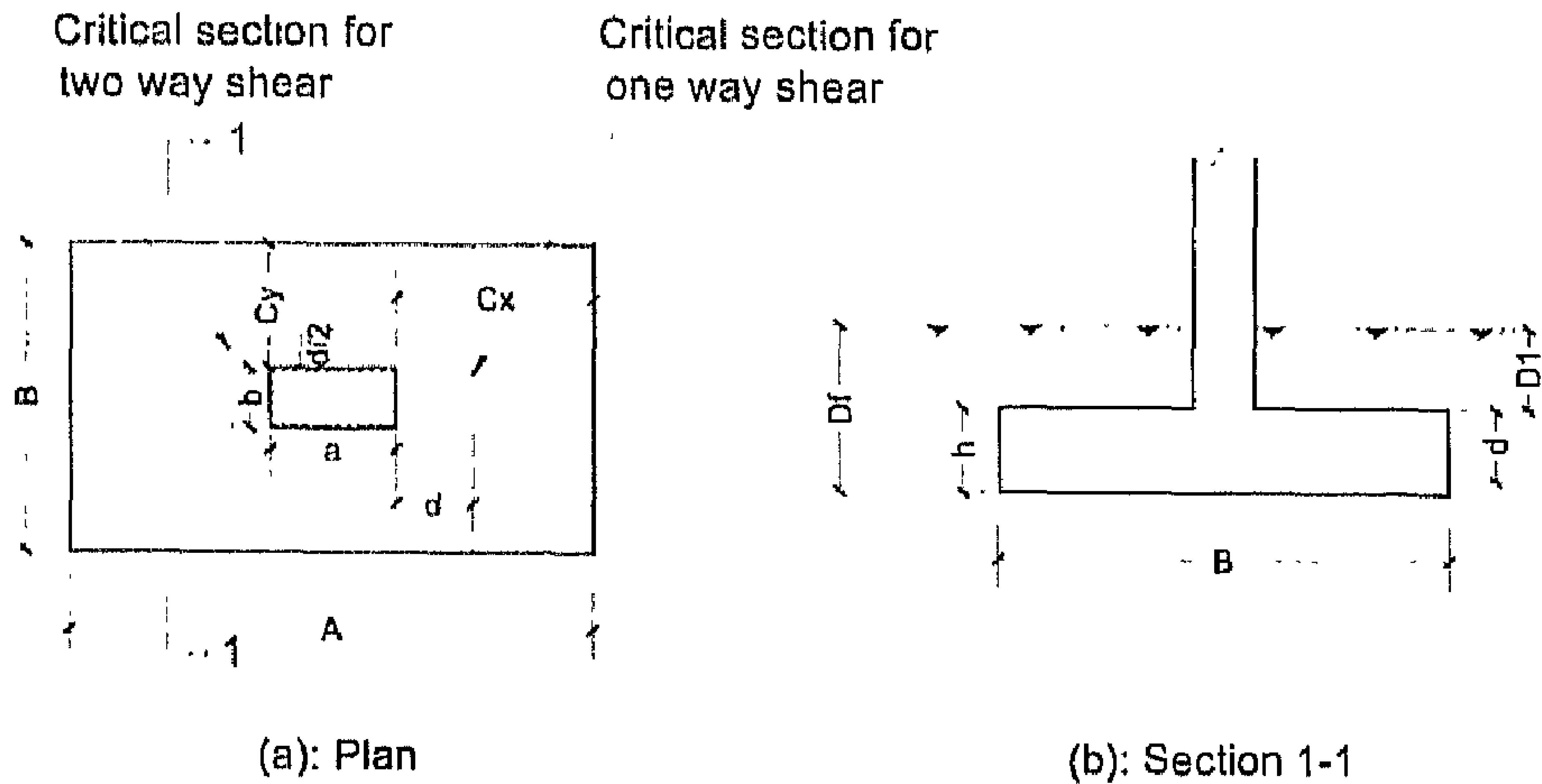
٥- تفصيل تسليح الأساس والتأكد من طول التماسك (الإرساء) Development length

يتم تفصيل التسليح من حيث القطر والعدد والتباعد والطول والموقع، وتوزيعه بشكل منتظم باتجاه بعدي القاعدة، ويتم التأكد من طول التلاحم (الإرساء)

Development length وأطوال الأشاير طبقًا للكود ACI 318-08 ، انظر الملحق C1 الذي يحتوي على مثال عن مخطط تسليح قاعدة منفصلة مربعة.

(٢,٣) تصميم القواعد المستطيلة المعرضة لقوة محورية
Design of Rectangular Spread Footings Subject to Normal Force

قد يلجأ المصمم لاختيار قاعدة منفصلة بشكل مستطيل، وذلك ليتجنب تداخل هذه القاعدة مع قواعد مجاورة في حال اعتماد قاعدة مربعة الشكل، أو لكون العمود بشكل مستطيل أو لأسباب أخرى. يبين الشكل رقم (a ٢,٤) مسقطًا أفقيًا لقاعدة منفصلة مستطيلة ويبين الشكل رقم (b ٢,٤) مقطعا رأسيًا في هذه القاعدة، يتم تصميم القواعد المنفصلة المستطيلة وفق الإجراء التالي.



الشكل رقم (٢,٤). قاعدة منفصلة مستطيلة معرضة لقوة محورية: (a) مسقط القاعدة، (b) مقطع رأسي في القاعدة.

١- حساب مساحة الأساس وأبعاده

نفس الإجراء المتبع في حالة القواعد المربعة، الفقرة (٢,٢) مع ملاحظة أنه في حال كون العمود مستطيل الشكل وفي حالة الرغبة على المحافظة على بروز (مسافة

وجه العمود عن طرف الأساس) متساو من الأطراف الأربعة. يمكن حساب البروز من خلال العلاقة التالية ذات الدرجة الثانية :

$$Area = (a + 2C)(b + 2C) \tag{2.21}$$

يتم حساب قيمة C من العلاقة السابقة ومن ثم تحسب أبعاد القاعدة وفق ما يلي :

$$A = a + 2C \tag{2.22}$$

$$B = b + 2C \tag{2.23}$$

٢- التأكد من كون ارتفاع الأساس كافيًا لمقاومة القص

يجب تحقيق مقاومة خرسانة الأساس لكل من القص ثنائي الاتجاه Two-way shear والقص أحادي الاتجاه One-way shear، (انظر الشكل رقم ٢,٤ a) علمًا أنه يمكن أن يكون القص أحادي الاتجاه هو المهيمن أحيانًا في القواعد المستطيلة. يتحقق ذلك بافتراض قيمة معينة h لارتفاع الأساس والتحقق من أن هذه القيمة كافية لتحقيق مقاومة الخرسانة على القص ثنائي الاتجاه وعلى القص أحادي الاتجاه دون الحاجة إلى تسليح كما هو الإجراء في الفقرة (٢,٢).

٣- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء Flexural reinforcement

كما هو في حال القواعد المربعة، الفقرة (٢,٢)، يتم حساب عزم الانحناء الحدي Ultimate bending moment عند المقطع الحرج، وهو على وجه العمود المصنوع من الخرسانة وعند منتصف المسافة الكائنة بين منتصف العمود وطرف صفيحة الاستناد Base plate في حالة العمود المعدني، وذلك بالاتجاهين x, y وفق العلاقة (2.16) ومن ثم يتم حساب التسليح في كل اتجاه وفق العلاقتين (2.18, 2.17) مع الانتباه إلى أن نسبة التسليح Reinforcement ratio ρ في كل اتجاه يجب أن تكون أكبر من الحد الأدنى وأقل من الحد الأعلى طبقًا للفقرة (١,٦,٣).

٤- التحقق من عدم تجاوز مقاومة الخرسانة على الارتكاز Bearing stress

نفس الإجراء المتبع في القواعد المربعة، (انظر الفقرة ٢,٢).

٥- تفصيل تسليح الأساس والتأكد من طول التماسك (الإرساء) Development length

يتم تفصيل التسليح من حيث القطر والعدد والتباعد والطول والموقع، ويتم التأكد من طول التلاحم (الإرساء) Development length وأطوال الأشاير طبقا للفقرة للكود ACI 318-08، يتم توزيع التسليح بشكل منتظم في الاتجاه الطويل من القاعدة، أما بالاتجاه القصير فيوزع جزء من التسليح قدره ($\gamma_s A_s$) على قطاع يعادل عرض القاعدة تحت العمود بحيث يكون مركز القطاع هو مركز العمود وباقي التسليح [$(1-\gamma_s)A_s$] يوزع بشكل منتظم خارج القطاع السابق، انظر الملحق C1 الذي يحتوي على مثال عن مخطط تسليح قاعدة منفصلة مستطيلة.

$$\gamma_s = \frac{2}{\beta + 1} \qquad (2.24)$$

حيث β نسبة طول إلى عرض الأساس.

(٢,٤) تصميم القواعد المنفصلة المحملة لامركزيًا
(قوة محورية مع عزم أو عزمي الحناء)
Eccentrically-loaded Spread Footing

يمكن أن تتعرض القاعدة بالإضافة إلى القوة المحورية إلى عزم أو عزمي انحناء نتيجة لقوى الجاذبية، مثل قاعدة طرفية في إطار، أو للقوى الجانبية (مثل الرياح، الزلازل، ضغط التربة، ضغط المياه، ... إلخ)، (انظر الشكلان رقما ٢,٥ ، ٢,٦). كذلك يمكن أن تنشأ العزوم لكون محور العمود غير متمركز مع مركز القاعدة مثل قاعدة الجوار. يمكن التعامل مع القواعد المنفصلة المحملة لامركزيًا بثلاث طرق مختلفة :

أولاً: طريقة التحليل الجاسئة Rigid analysis method

والتي تفترض توزع خطي للإجهاد تحت الأساس، وفق العلاقة العامة المعروفة (33) أو (38)، تبعًا لوجود عزم، أو عزمين على التوالي، (انظر الفقرة ١,٥,٢). هذه الطريقة شائعة ومفضلة لدى المهندسين الإنشائيين، ولأن الحمل اللامركزي يمكن أن يضعف قيمة تحمل التربة، فعلى المهندس الجيوتكنيكي أن يأخذ ذلك بالحسبان قبل توصيته بقيمة معينة لتحمل التربة.

ثانيًا: طريقة مستطيل الضغط المكافئ Equivalent rectangle pressure

تفترض هذه الطريقة بأن الأساس مضغوط بشكل جزئي، وأن توزع الإجهاد يكون منتظما بطول يعادل: (L'=L-2ex)، (انظر الفقرة ٢,٥,٢). وعلى اعتبار أن بعض معاملات حساب تحمل التربة تتعلق بالطول L' وكذلك بالطول B' في حالة اللامركزية بالاتجاهين، لذلك يمكن حساب تحمل التربة الحدي باستخدام الأبعاد B', L' ومن ثم حساب تحمل التربة المسموح بتقسيم التحمل الحدي على معامل الأمان، ومن ثم مقارنة الحمل المحوري المؤثر على الأساس برد الفعل المحسوب باستخدام تحمل التربة (طبقًا للأبعاد الفعالة) والأبعاد الفعالة للأساس.

ثالثًا: طريقة العناصر المحدودة Finite element method

يتم تمثيل القاعدة باستخدام عناصر صفائحية Shell elements والتربة باستخدام نوابض Springs لها صلابة تتناسب مع معامل رد فعل التربة Modulus of subgrade K_s reaction والمنطقة التي تمثلها عقدة النابض Tributary area، تعرف درجات الحرية لعقد النوابض التي تمثل التربة بـ (u3, r1 r2) أي السماح بالانتقال الرأسي والدوران حول المحور x وحول المحور y في المستوي. تمتاز بعض برامج تصميم الأساسات باستخدام العناصر المحدودة، مثل برنامج SAFE بخاصية إلغاء الجزء المشدود من الأساس في حال كون الأساس معرضًا إلى رفع uplift لكون اللامركزية خارج الثلث الأوسط، وذلك

بحساب الإجهاد بشكل تكراري حتى الوصول إلى الحل النهائي باستخدام التحليل اللاخطي التكراري Non-linear iterative uplift analysis. في حالة الرغبة بتمثيل الأساسات بطريقة فراغية (ثلاثية الأبعاد) يمكن تمثيل الأساس باستخدام عناصر ثلاثية الأبعاد Solid elements لهذه الغاية ويمكن أن تكون هذه العناصر على عدة طبقات، أما التربة فتمثل بنوابض، ويمكن بذلك الحصول على إجهادات على سطح التربة وجهود بالعناصر الخرسانية أكثر دقة، إلا أن هذا التمثيل غير مرغوب من الناحية العملية، حيث إنه يتطلب المزيد من الوقت بإدخال المعطيات وقراءة النتائج ويمكن استخدامه لمسائل خاصة أو في الأبحاث الأكاديمية.

(١, ٤, ٢) طريقة التحليل الجاسئة Rigid Analysis Method

(١, ١, ٤, ٢) حالة قاعدة معرضة إلى قوة محورية وعزم انحناء وحيد
Spread footing subject to normal force and one bending moment

يجب التأكد من كون الإجهاد على التربة في حالة ضغط عبر كامل مساحة القاعدة، وهذه هي الحالة المفضلة، والتي تؤدي إلى استقرار أكثر للأساس وعامل أمان جيد ضد الانقلاب، أما في حالة كون جزء من الأساس معرضًا للشد، وعلى اعتبار أن التربة لا تتحمل إجهاد شدTension stress فستتعرض المنطقة المشدودة إلى فصل بين التربة والأساس، يجب في هذه الحالة حذف الجزء المشدود واعتبار الجزء المضغوط فقط في حساب الإجهاد. يبين الشكل رقم (٢,٥ a) مخططا لإجهاد التربة في حالة كون اللامركزية e Eccentricity أقل من 1/6 (اللامركزية ضمن الثلث الأوسط) وكذلك حال كونها أكبر من 1/6 (اللامركزية خارج الثلث الأوسط) ويبين الشكل رقم (٢,٦ b) مسقط القاعدة في حالة كون اللامركزية أكبر من 1/6 ومظلل عليها الجزء المضغوط، فيما يلي قوانين حساب إجهاد التربة في الحالتين:

$$q = \frac{P}{BL} \pm \frac{6M}{B^2 L} \qquad (2.25)$$

$$e = \frac{M}{P} \qquad (2.26)$$

For e < B / 6

$$q_{max} = \frac{P}{BL}(1 + \frac{6e}{B}) \qquad (2.27)$$

$$q_{min} = \frac{P}{BL}\left(1 - \frac{6e}{B}\right) \qquad (2.28)$$

For e > B / 6

$$q_{max} = \frac{4P}{3L(B - 2e)} \qquad (2.29)$$

حيث إن:

P القوة المحورية الكلية على الأساس.

M العزم المؤثر على القاعدة من العمود.

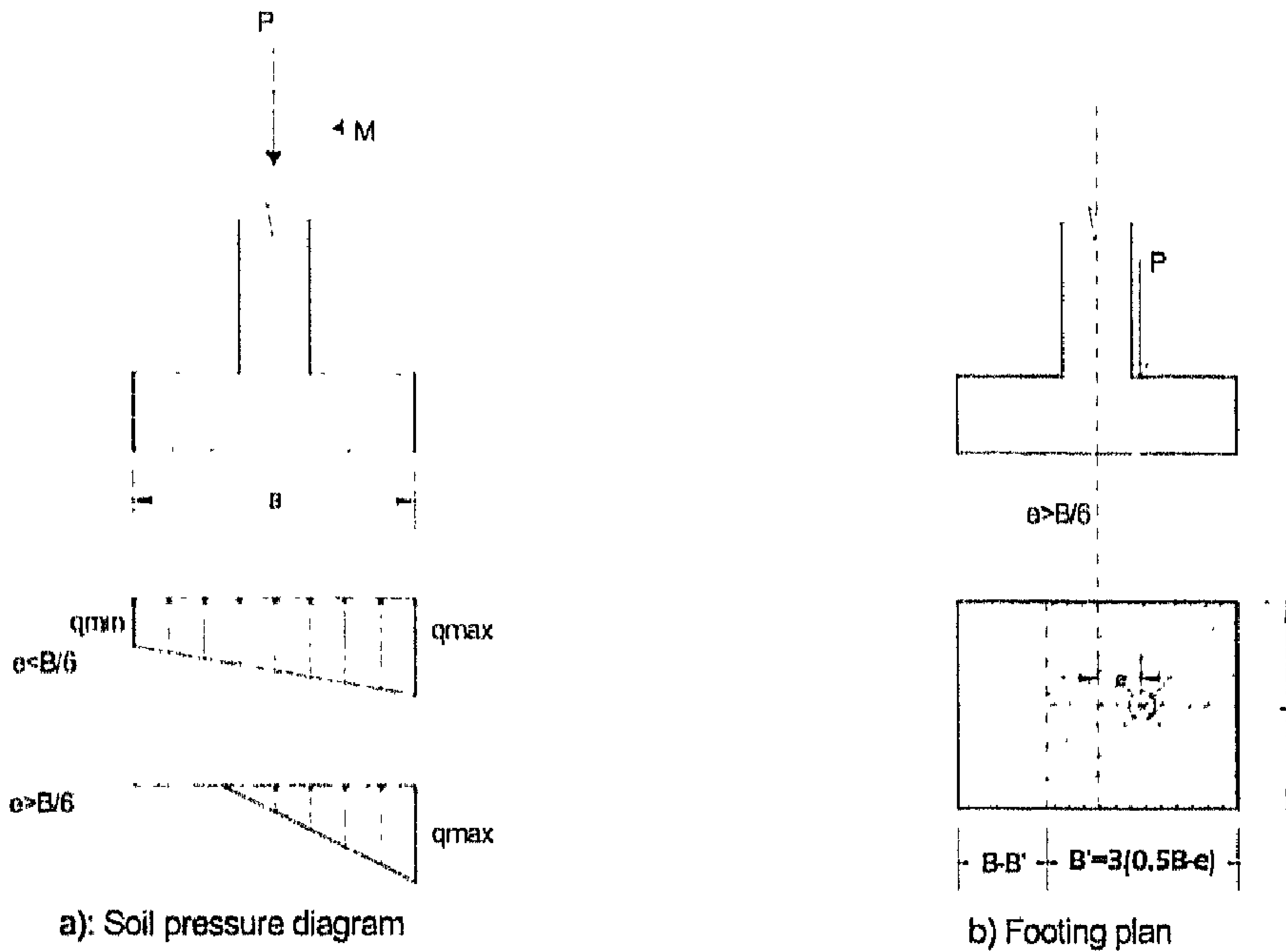
(٢,٤,١,٢) إجراء تصميم القاعدة المعرضة لقوة محورية وعزم انحناء وحيد

١- تحقيق أبعاد القاعدة: يتم فرض عرض القاعدة واستنتاج الطول ليحقق إجهاد ضغط التربة وفق العلاقتين (2.28, 2.27) أو العلاقة (2.29). يمكن أيضًا فرض بعدي القاعدة وتحقيق عدم تجاوز إجهاد ضغط التربة لتحمل التربة.

٢- التأكد من أن ارتفاع القاعدة كاف لمقاومة القص: يتم تحقيق القص غير المباشر (ثنائي الاتجاه) باعتبار مخطط إجهاد التربة الناتج عن القوة المحورية فقط، حيث

إن محصلة رد فعل التربة باعتبار العزم المؤثر على القاعدة يكون صفرًا، كذلك يتم تحقيق القص أحادي الاتجاه باعتبار مخطط إجهاد التربة الناتج عن القوة المحورية والعزم.

٣- حساب التسليح اللازم لمقاومة عزم الانحناء: يتم ذلك باعتبار المخطط الكلي لضغط التربة (قوة محورية + عزم)، وذلك في الاتجاهين.



الشكل رقم (٢,٥). قاعدة معرضة إلى قوة محورية وعزم: (a) مخطط رد فعل التربة، (b) مسقط القاعدة.

(٢,٤,١,٣) حالة قاعدة معرضة إلى قوة محورية وعزمي انحناء:

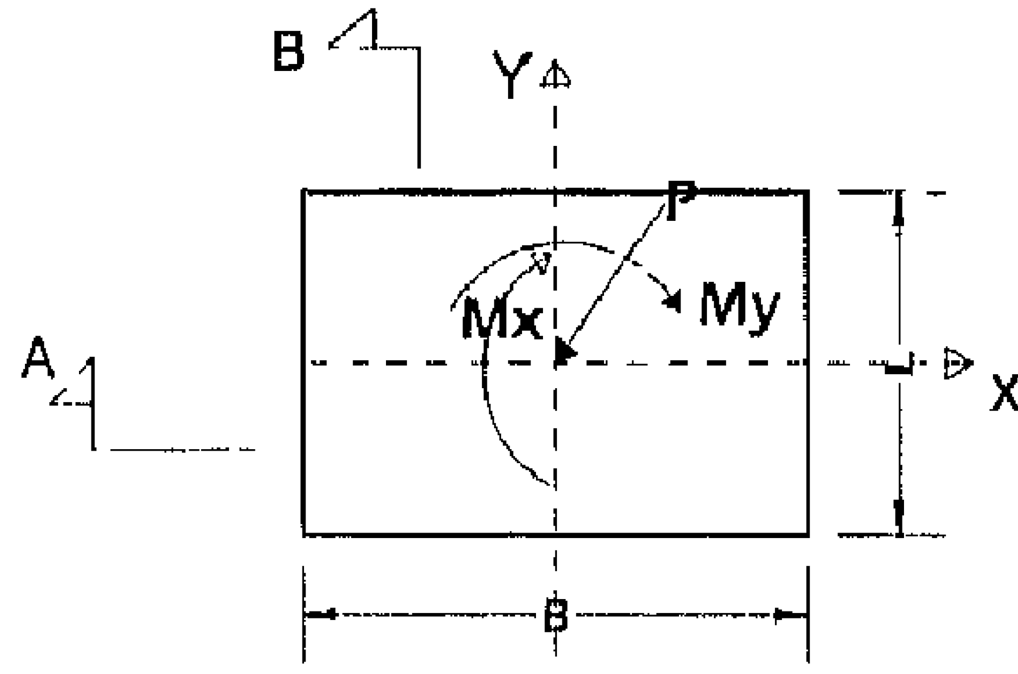
Spread footing subject to normal force and two bending moments

يجب التأكد من كون الإجهاد على التربة في حالة ضغط في جميع الزوايا، يمكن حساب الإجهاد على التربة في هذه الحالة من خلال العلاقة العامة التالية، (انظر الشكل رقم ٢,٦).

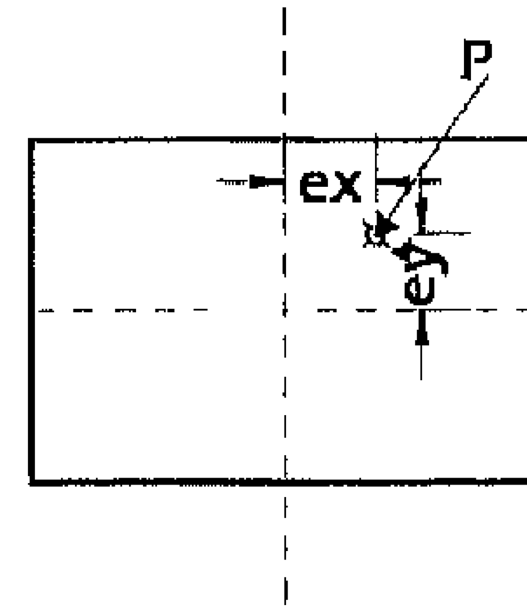
$$q = \frac{P}{BL} \pm \frac{6My}{B^2L} \pm \frac{6Mx}{L^2B} \tag{2.30}$$

حيث إن:

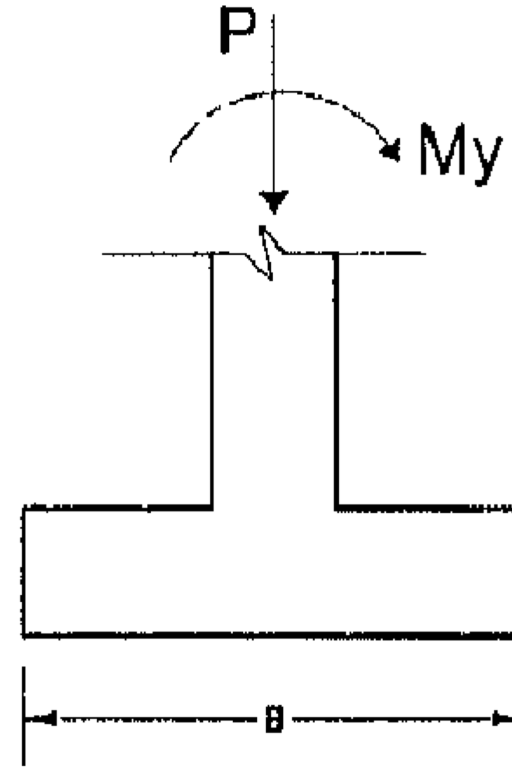
My عزم الانحناء حول المحور y، Mx عزم الانحناء حول المحور x.



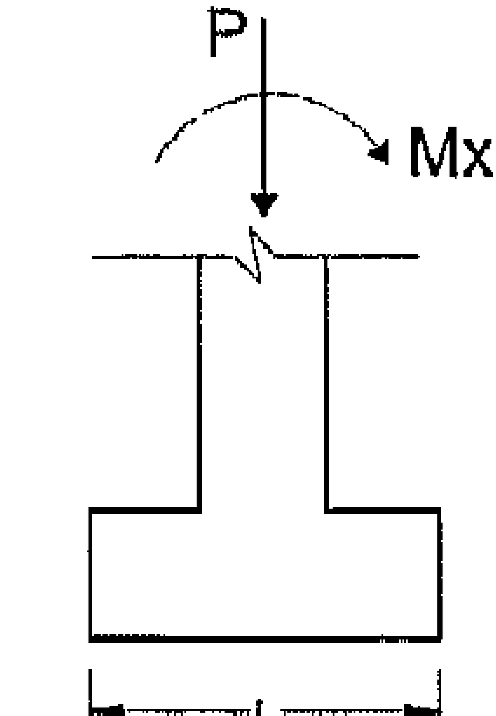
(a): Footing plan



(b): Equivalent footing



(c): Section A-A

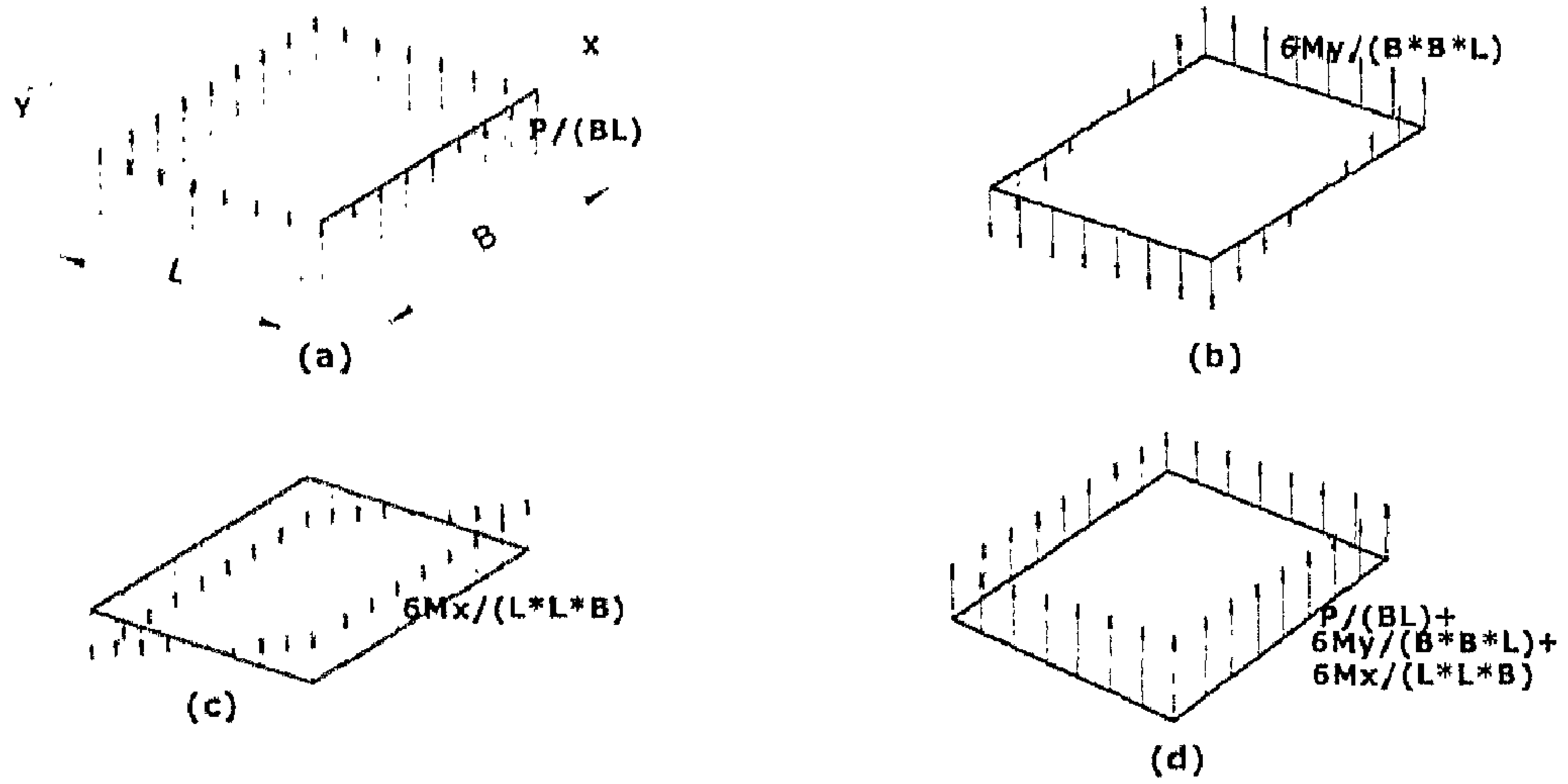


(d): Section B-B

الشكل رقم (٢,٦). قاعدة معرضة لقوة محورية وعزمين: (a) مسقط أفقي لقاعدة مسلحة معرضة لقوة محورية وعزمين، (b) القاعدة المكافئة، (c) المقطع A-A، (d) المقطع B-B.

بتطبيق العلاقة (2.30) يمكن الحصول على الإجهاد المؤثر على التربة في زوايا الأساس الأربع ويجب التأكد أن جميع هذه القيم موجبة (حالة ضغط كامل)، ينتج مخطط رد فعل التربة على القاعدة المعرضة لقوة محورية وعزمي الحناء عن جمع جبري لقيم الإجهادات ذات الصلة لكل من مخططات رد فعل التربة العائدة للقوة المحورية

(الحد الأول في العلاقة) وعزمي الانحناء (الحدين الثاني والثالث في العلاقة)، (انظر الشكل رقم ٢,٧). أما في حال كون واحدة أو أكثر من قيم الإجهاد سالبة، ويحصل ذلك إذا كانت اللامركزية أكبر من السدس في أحد الاتجاهين أو كليهما (اللامركزية خارج الثلث الأوسط) وعلى اعتبار أن التربة لا تتحمل إجهاد شد فستتعرض المنطقة المشدودة إلى فصل بين التربة والأساس، يمكن في هذه الحالة استخدام بعض برامج تصميم الأساسات التي تعمل وفق مبدأ الطريقة الجاسئة، والتي تعمل على إلغاء الجزء المشدود من الأساس وحساب الإجهاد بشكل تكراري حتى الوصول إلى الحل النهائي بحيث تكون القوة المحورية المؤثرة بعد نقلها إلى المكان المطلوب حسب قيمة العزوم متمركزة مع محصلة إجهاد رد الفعل أو استخدام الطريقة الثانية أو الثالثة لتصميم الأساسات المحملة لامركزيًا.



الشكل رقم (٢,٧). مخططات رد فعل التربة لقاعدة معرضة لقوة محورية وعزمين: (a) مخطط رد فعل التربة نتيجة القوة P، (b) مخطط رد فعل التربة نتيجة العزم My، (c) مخطط رد فعل التربة نتيجة العزم Mx، (d) مخطط رد فعل التربة نتيجة القوة المحورية والعزمين (جمع جبري لقيم المخططات a, b, c).

(٢,٤,١,٤) إجراء تصميم القاعدة المعرضة لقوة وعزمي انحناء (إجهاد ضغط لكامل مساحة القاعدة)

١- تحقيق أبعاد القاعدة: يتم فرض عرض وطول القاعدة والتحقق من عدم تجاوز إجهاد ضغط التربة لتحمل التربة وفق العلاقة (2.30).

٢- التأكد من أن ارتفاع القاعدة كاف لمقاومة القص: يتم تحقيق القص غير المباشر (ثنائي الاتجاه) باعتبار مخطط إجهاد التربة الناتج عن القوة المحورية فقط، حيث إن محصلة رد فعل التربة باعتبار العزم المؤثر على القاعدة بكل اتجاه (x, y) يكون صفرًا، كذلك يتم تحقيق القص أحادي الاتجاه باعتبار مخطط إجهاد التربة الناتج عن القوة المحورية والعزم وذلك في كل اتجاه.

٣- حساب التسليح اللازم لمقاومة عزم الانحناء: يتم ذلك باعتبار المخطط الكلي لضغط التربة (قوة محورية + عزم) بكل اتجاه.

(٢,٤,٢) طريقة مستطيل الضغط المكافئ Equivalent Rectangle Pressure

بعد إجراء عدة أبحاث وتقديم ملاحظاتهما توصل كل من Meyerhof وHansen (Hansen, 1970) إلى أنه في حالة قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم، فإنه يمكن استخدام الأبعاد الفعالة للقاعدة لحساب الإجهاد ولحساب تحمل التربة، تعرف الأبعاد الفعالة بالعلاقات التالية، (انظر الشكل رقم ٢,٨):

$$L' = L - 2e_x \qquad (2.31)$$

$$B' = B - 2e_y \qquad (2.32)$$

$$e_x = My/P \qquad (2.33)$$

$$c_y = Mx/P \quad (2.34)$$

حيث إن :

c_x اللامركزية بالاتجاه x ، c_y اللامركزية بالاتجاه y.

P القوة المحورية المؤثرة على الأساس.

My العزم حول المحور x ، Mx العزم حول المحور y.

L' البعد الفعال بالاتجاه x ، B' البعد الفعال بالاتجاه y.

وحسب هذه الطريقة ، فإن توزع الإجهاد تحت الأساس يكون منتظمًا أي أنه في حال تعرض الأساس إلى قوة وعزم فسيتعرض الليف الأقصى إلى إجهاد حدي q_{ult}، بدوره الليف المجاور يصل إلى الإجهاد الحدي ، وهكذا ينتشر على كامل طول البعد الفعال في الأساس فيتشكل مخطط منتظم للضغط يدعى بمستطيل الضغط المكافئ Equivalent rectangle pressure. يتم حساب الإجهاد الحدي باعتبار الأبعاد الفعالة للأساس q'_{ult} باستخدام معادلة Hansen (Hansen, 1970) علمًا أنه لن يتم التطرق إلى هذه المعادلة ؛ لأنها خارج نطاق موضوع الكتاب ، وليست من مسؤولية المهندس الإنشائي بل الدارس الجيوتكنيكي. يمكن بعد حساب التحمل الحدي حساب التحمل المسموح q_a بتقسيم التحمل الحدي على عامل أمان SF وتحقيق الأساس وفق ما يلي :

$$q'_a = q'_{ult}/SF \quad (2.35)$$

حالة أساس معرض لقوة محورية وعزم وحيد ، يتم تطبيق أحد المعادلتين حسب اتجاه العزم

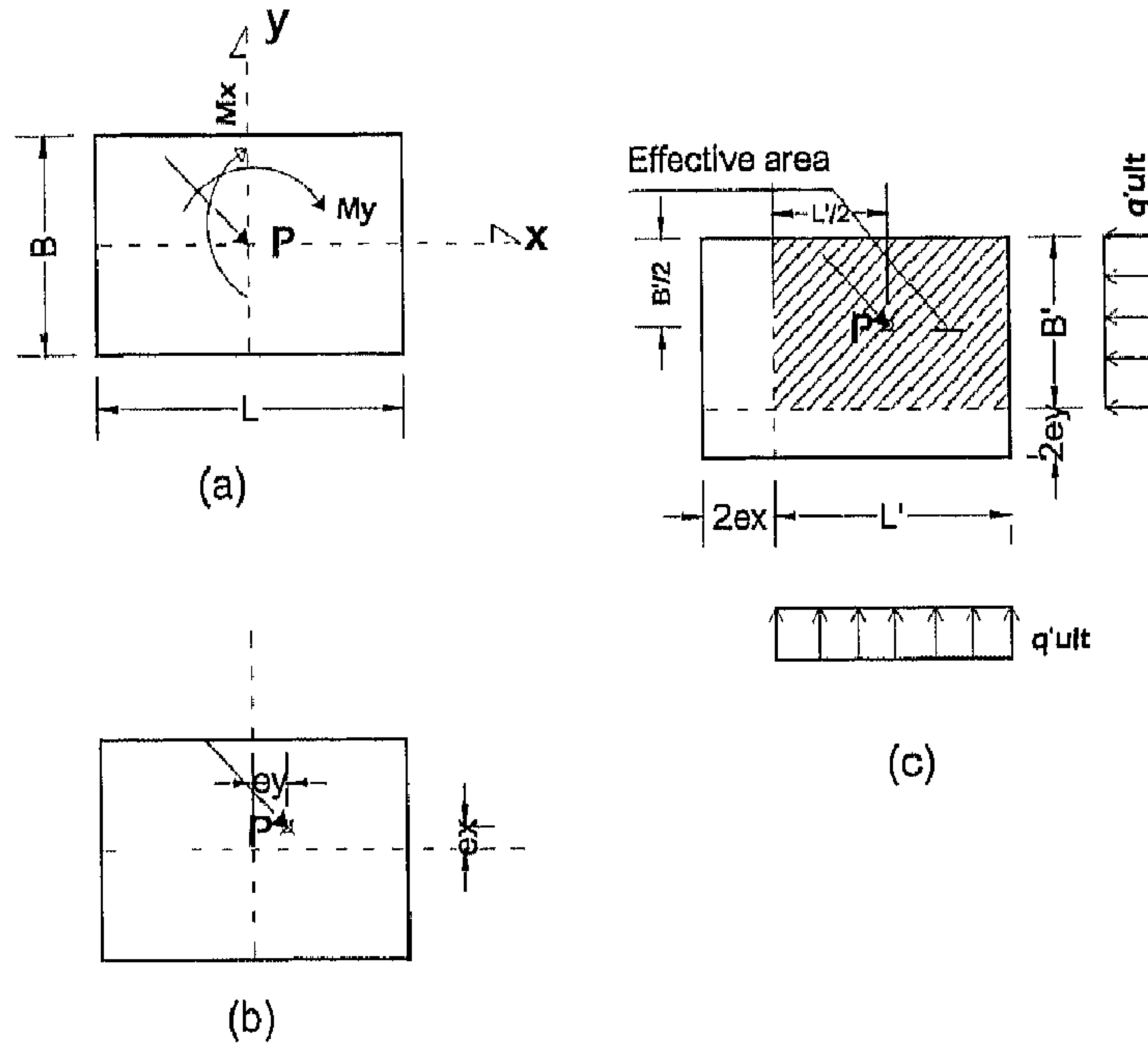
$$P \le q'a \times L' \times B \text{ for } (P + My) \quad (2.36)$$

$$P \le q'a \times B' \times L \text{ for } (P + Mx) \quad (2.37)$$

حالة أساس معرض لقوة محورية وعزمين

$$P \leq q'a \times B' \times L' \text{ for (P+Mx+My)} \quad (2.38)$$

تجدر الإشارة إلى أن المنطقة الفعالة من الأساس تكون بشكل مستطيل في حال كون اللامركزية أقل من السدس بكل اتجاه، وبالتالي يمكن تطبيق المعادلة (2.38)، أما في حال كون اللامركزية أكبر من السدس في أحد الاتجاهين أو كليهما (اللامركزية خارج الثلث الأوسط) فتكون المنطقة المضغوطة على شكل مثلث أو شبه منحرف، وتحتاج إلى معادلات خاصة بها، ويمكن حلها وفق طريقة العناصر المحدودة (الطريقة الثالثة) باستخدام التحليل اللاخطي التكراري Non-linear iterative uplift analysis.



الشكل رقم (٢,٨). قاعدة معرضة إلى قوة محورية وعزمين: (a) مسقط القاعدة، (b) القوة المحورية المؤثرة على القاعدة ونقطة التطبيق الجديدة باعتبار العزمين، (c) مخطط رد فعل التربة باستخدام طريقة مستطيل الضغط المكافئ.

(٢,٥) أمثلة تطبيقية

Application Examples

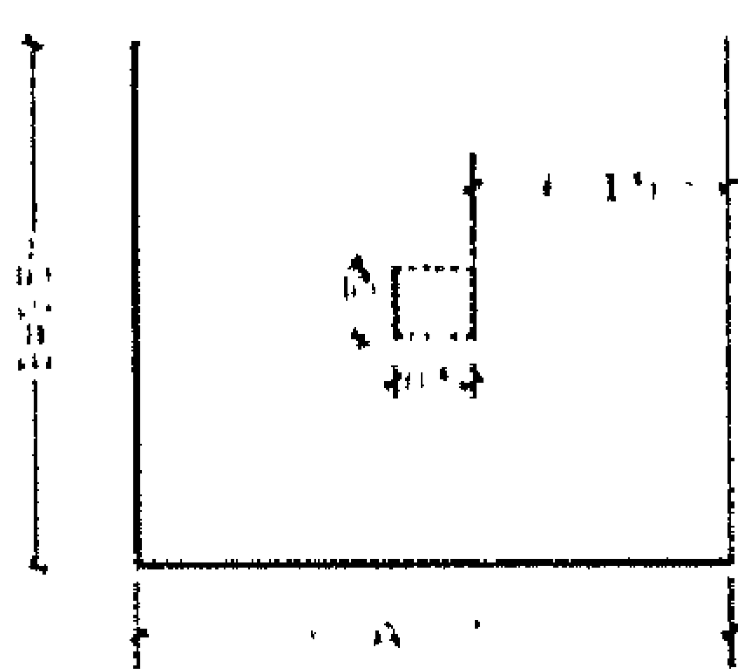
المثال (٢,١): تصميم قاعدة منفصلة مربعة معرضة إلى قوة محورية

Design of Square Spread Footing Subject to Normal Force

صمم قاعدة مربعة تحمل عموداً بأبعاد 0.5×0.5 m علماً أن منسوب التأسيس على عمق 1.25 m وأن الحمل الميت على العمود $P_D = 910$ KN والحمل الحي $P_L = 520$ KN وأن تحمل التربة المسموح $q_a = 145$ KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y = 414$ MPa ، (انظر الشكل رقم ٢,٩).

الغاية من المثال

تصميم قاعدة مربعة معرضة إلى قوة محورية فقط بشكل تفصيلي، التحقق من عدم تجاوز مقاومة الخرسانة على الارتكاز، مخطط التسليح.



(a): Plan



(b): Section

الشكل رقم (٢,٩). قاعدة منفصلة مربعة معرضة لقوة محورية: (a) مسقط لقاعدة منفصلة مربعة، (b) مقطع رأسي في القاعدة.

١ - حساب مساحة الأساس وأبعاده

نفترض أن كثافة خرسانة الأساس مع التربة التي فوقه بقيمة متوسطة

$$\gamma_{av} = 22\ KN/m^3$$

$$q_a - \gamma_{av}\ D_f = q_{an}$$

$$q_{an} = 145 - 22 \times 1.25 = 117.5\ KN/m^2$$

$$Area = (P_D+P_L)/q_{an} = (910+520)/117.5 = 12.17\ m^2$$

$$A = B = \sqrt{Area} = \sqrt{12.17} \approx 3.5\ m$$

٢- التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن ارتفاع الأساس $h = 0.6$ m والارتفاع الفعال $d = 0.55$

$$P_u = 1.2\ P_D + 1.6 P_L$$

$$P_u = 1.2 \times 910 + 1.6 \times 520 = 1924\ KN$$

$$q_u = P_u/(A\times B) = 1924 / (3.5\times3.5) = 157\ KN/m^2$$

$$V_u = q_u \times[A \times B - (a+d) \times (b+d)]$$

$$V_u = 157 \times[3.5 \times 3.5 - (0.5+0.55) \times (0.5+0.55)]=1750\ KN$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_0 = 2(0.5+0.55) + 2(0.5+0.55) = 4.2\ m$$

$$V_c = \min\left[(1+\frac{2}{\beta})\frac{\sqrt{f'c}}{6}b_0 d,\ (\frac{\alpha_s d}{b_0}+2)\frac{\sqrt{f'c}}{12}b_0 d,\ \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\,b_0 d\right]$$

$$(1+\frac{2}{1})\frac{\sqrt{30}}{6}4.2\times 0.55\times 1000 = 6326\ KN,$$

$$(\frac{40\times 0.55}{4.2}+2)\frac{\sqrt{30}}{12}4.2\times 0.55\times 1000 = 7632\ KN,$$

$$\frac{\sqrt{30}}{3}(4.2\times 0.55)\times 1000 = 4217\ KN,$$

$$V_c = \min(6326, 7632, 4217) = 4217\ KN$$

$$V_u = 1750 < 0.75\times 4217 = 3162.8\ KN\ (Ok.)$$

٣- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

$$V_u = q_u B(C-d)$$

$$V_u = 157\times 3.5(1.5-0.55) = 522\ KN$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd$$

$$V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(3.5\times 0.55)\times 1000 = 1757\ KN$$

$V_u = 522 < 0.75 \times 1757 = 1317.8$ KN (Ok.)

٤- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء

$$M_u = q_u L_n^2/2$$

$$M_u = 157 \times (1.5)^2/2 = 176.6 \text{ KN.m/m}$$

$$m = f_y / 0.85 f'_c = 414/(0.85 \times 30) = 16.24$$

$$R_U = M_u/(0.9 B d^2) = R_U = 176.6/(0.9 \times 1.0 \times 0.55^2) = 648.7 \text{ KN/m}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - 2m\frac{Ru}{fy}}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{16.24}\left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 16.24 \times \frac{648.7}{414000}}\right) = 0.0016$$

$\rho = \rho_{min} = 0.0018$, $A_s = 0.0018 \times 100 \times 55 = \phi 14@150$ mm (تسليح رئيس سفلي)

٥- التحقق من عدم تجاوز مقاومة الخرسانة على الارتكاز

$$\sqrt{A2/A1} = \sqrt{2.9^2/0.5^2} = 5.8 > 2$$

$$P_u < 0.85 \phi f'c A1 \sqrt{A2/A1}$$

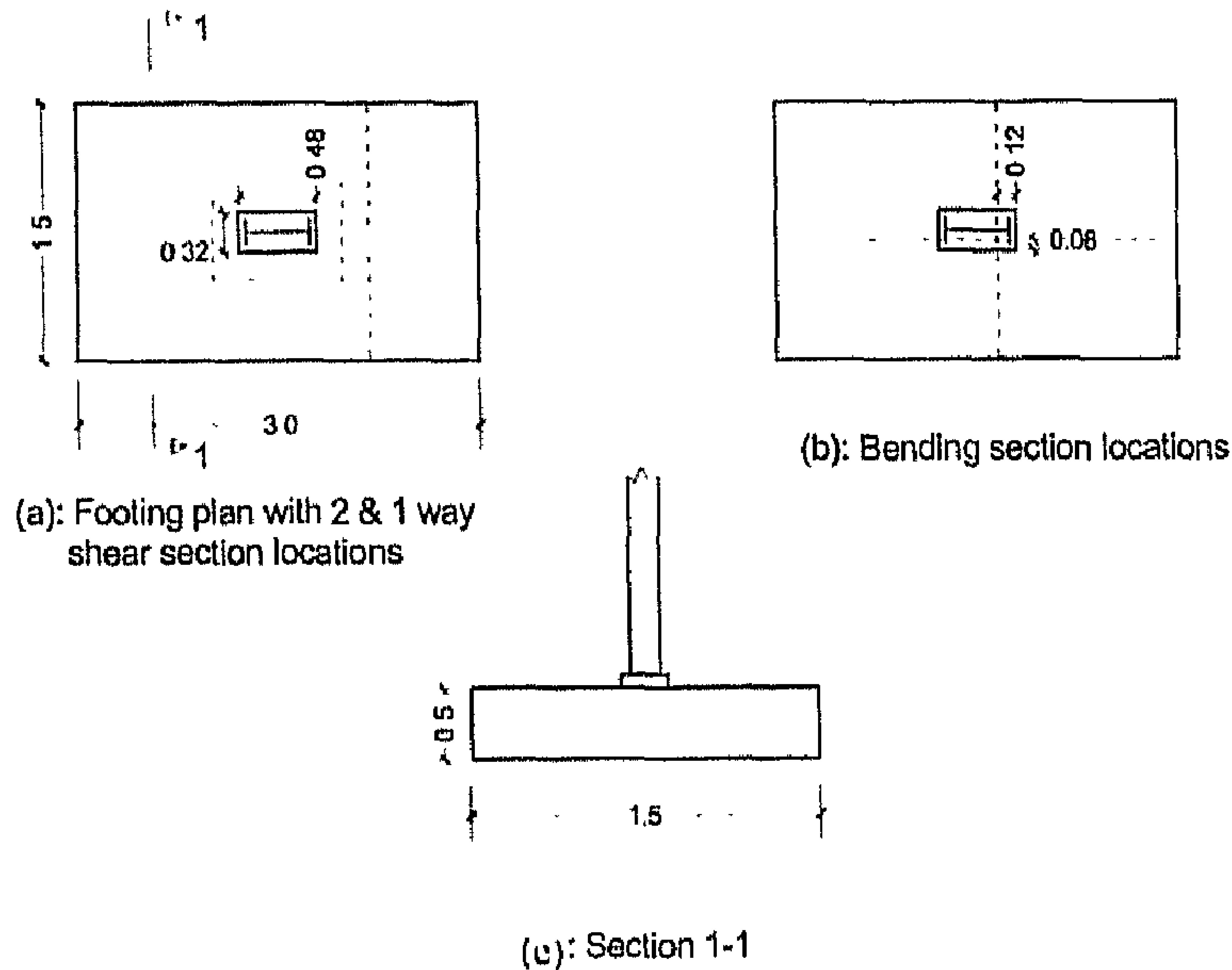
$$P_u = 1924 < 0.85 \times 0.65 \times 30000 \times (0.5)^2 \times 2 = 8288 \text{ KN (Ok.)}$$

٦- التسليح : انظر الملحق C1.

المثال (٢,٢): تصميم قاعدة منفصلة مستطيلة معرضة إلى قوة محورية

Design of Rectangular Spread Footing Subject to Normal Force

صمم قاعدة مستطيلة تحمل عمودًا معدنيًا مستندًا على صفيحة استناد Base plate بأبعاد 32×48 cm، (انظر الشكل رقم ٢,١٠) علما أن الحمل الميت للعمود P_D = 310 KN والحمل الحي P_L= 120 KN وأن تحمل التربة q_a = 100 KPa وأن عرض الأساس B=1.5 m والمقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ fy = 414 MPa.



الشكل رقم (٢,١٠). قاعدة منفصلة مستطيلة معرضة لقوة محورية: (a) مسقط لقاعدة منفصلة مستطيلة، (b) موقعا المقطعين الحرجين لعزمي الانحناء، (c) المقطع ١-١.

الغاية من المثال

تصميم قاعدة مستطيلة معرضة إلى قوة محورية فقط بشكل تفصيلي ، مخطط التسليح.

١- حساب مساحة الأساس وأبعاده

يتم حساب طول الأساس مبدئيًا بإهمال فرق وزن خرسانة الأساس عن التربة

مساحة القاعدة المطلوبة

$$Area = (P_D+P_L)/q_{an} = (310+120)/100 = 4.3\ m^2$$

على افتراض أن عرض القاعدة B= 1.5 m يكون طولها

$$A = Area/B = 4.3/1.5 = 2.87 \approx 3.0\ m$$

فرق وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم (باعتبار ارتفاع القاعدة h=0.5 m وكثافة الخرسانة 25 KN/m^3 وكثافة التربة 18 KN/m^3)

$$W=3\times1.5\times0.5\times(25-18)=15.75\ KN$$

$$q=(310+120+15.75)/(3\times1.5)=99 < 100\ (Ok.)$$

٢- التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن ارتفاع الأساس h = 0.5 m والارتفاع الفعال d = 0.45

$$P_u = 1.2\ P_D + 1.6P_L$$

$$P_u = 1.2 \times 310 + 1.6 \times 120 = 564\ KN$$

$$q_u = P_u/(A\times B) = 564 / (3.0\times1.5) = 125.3\ KN/m^2$$

$$V_u = q_u \times [A \times B - (a+d) \times (b+d)]$$

$$V_u = 125.3 \times [3.0 \times 1.5 - (0.32+0.45) \times (0.48+0.45)] = 474 \text{ KN}$$

$$b_0 = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_0 = 2(0.32+0.45) + 2(0.48+0.45) = 3.4 \text{ m}$$

$$V_c = \min \left[(1+\frac{2}{\beta})\frac{\sqrt{f'c}}{6} b_0 d ,\ (\frac{\alpha_s d}{b_0}+2)\frac{\sqrt{f'c}}{12} b_0 d ,\ \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\, b_0 d \right]$$

$$(1+\frac{2}{0.48/0.32})\frac{\sqrt{30}}{6} 3.4 \times 0.45 \times 1000 = 3259 \text{ KN},$$

$$(\frac{40 \times 0.45}{3.4}+2)\frac{\sqrt{30}}{12} 3.4 \times 0.45 \times 1000 = 5094 \text{ KN},$$

$$\frac{\sqrt{30}}{3}(3.4 \times 0.45) \times 1000 = 2793 \text{ KN},$$

$$V_c = \min(3259, 5094, 2793) = 2793 \text{ KN}$$

$$V_u = 474 < 0.75 \times 2793 = 2095 \text{ KN (Ok.)}$$

٣- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

$$V_u = q_u B(C - d)$$

$$C=(3.0-0.48)/2=1.26\ m$$

$$V_u = 125.3 \times 1.5(1.26-0.45)= 152\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd$$

$$V_c=\frac{\sqrt{30}}{6}(3.5\times 0.45)\times 1000=1438\ KN$$

$$V_u=152<0.75\times 1438=1078.5\ KN\ (Ok.)$$

٤- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء

(أ) الاتجاه الطويل

$$M_u = q_u\ L_a^2/2$$

$$L_a=(3-0.48)/2+(0.48/4)=1.38\ m$$

$$M_u=125.3\times 1.38^2/2=119.3\ KN.m/m$$

$$\rho = \rho_{min}=0.0018$$

$A_s=0.0018\times 100\times 45=8.1\ cm^2/m$ (ϕ 14@150 mm تسليح رئيس سفلي)

(ب) الاتجاه القصير

$$M_u = q_u L_a^2/2$$

$$L_a = (1.5-0.32)/2+(0.32/4)=0.67 \text{ m}$$

$$M_u=125.3\times0.67^2/2=28.1 \text{ KN.m/m}$$

$$\rho = \rho_{min}=0.0018$$

$$A_s = 0.0018\times100\times45 = 8.1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\gamma_s = \frac{2}{\beta+1} = \frac{2}{(3/1.5)+1} = 0.67$$

٥- التسليح

(انظر الملحق C1)، لاحظ تكثيف التسليح في القطاع الأوسط Central band.

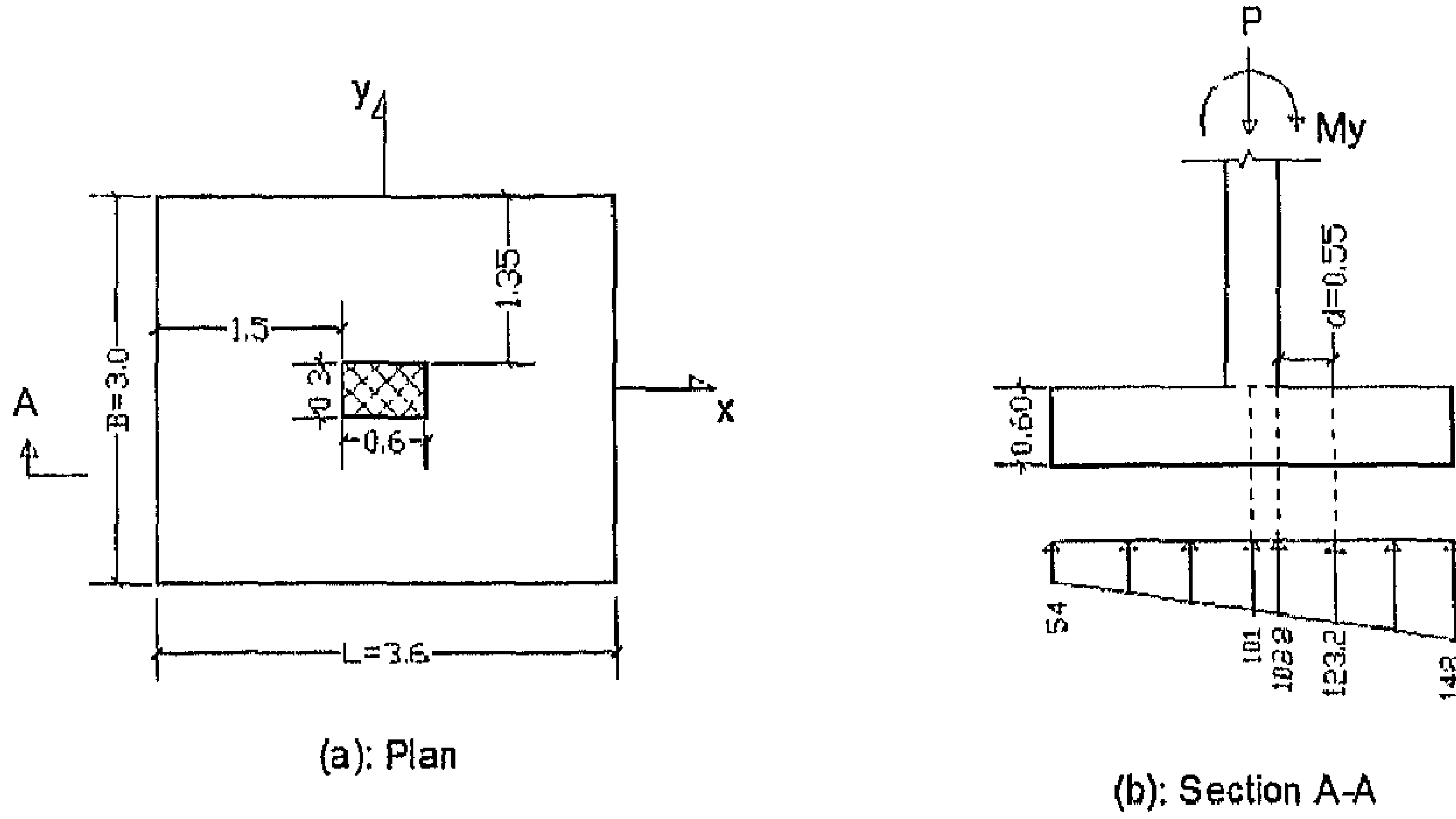
المثال (٢,٣): تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم (إجهاد ضغط كلي)

Design of Eccentrically-loaded Footing – totally-compressed

يطلب تصميم قاعدة من الخرسانة المسلحة لعمود ذي مقطع 30×60 cm، (انظر الشكل رقم ٢,١١) ينقل إلى القاعدة الأحمال المبينة في الجدول رقم (٢,١). علمًا أن المقاومة الإسطوانية المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 30$MPa وإجهاد خضوع الحديد $f_y = 414$ MPa وتحمل التربة الصافي $q_{an} = 120$ KPa.

الغاية من المثال

تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم انحناء (إطار خرساني - إجهاد ضغط على التربة بشكل كامل).



الشكل رقم (٢,١١). قاعدة معرضة لقوة محورية وعزم - ضغط كلي: (a) مسقط القاعدة، (b) مقطع رأسي في القاعدة.

الجدول رقم (٢,١). الأحمال المؤثرة على الأساس.

	نوع الحمل	أحمال تشغيلية	أحمال قصوى
P (D+L) KN	قوة محورية	839	1091
My (D+L), KN.m	عزم حول المحور y	232	302

١- حساب أبعاد الأساس

بإهمال فرق "وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم" مبدئيا وعلى فرض أن عرض القاعدة

:B = 3.0 m

$$q_1 = \frac{P}{BL}\left(1 + \frac{6e}{L}\right)$$

$$e = \frac{My}{P} = \frac{232}{839} = 0.277 \text{ m}$$

على اعتبار أن L هو المجهول الوحيد في العلاقة السابقة، وبتعويض $q_1 = 120$ (أي التحمل المسموح الصافي) نجد أن

$$120 = \frac{839}{3L}\left(1 + 6\,\frac{0.277}{L}\right)$$

بحل هذه المعادلة نجد أن L = 3.45 m (نعتبر L 3.6 m) على فرض أن ارتفاع القاعدة h = 0.6 m يمكن الآن تدقيق الإجهادين q_2 ، q_1، باعتبار فرق وزن خرسانة الأساس عن التربة :

$$W = 3.0 \times 3.6 \times 0.6\,(25 - 18) = 45.4 \text{ KN}$$

$$P_{total} = 839 + 45.4 = 884.4 \text{ KN}$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{232}{884.4} = 0.262 \text{ m}$$

$$q_1 = \frac{884.4}{3 \times 3.6}\left(1 + 6\,\frac{0.262}{3.6}\right) = 117.6 \text{ KN/m}^2 < 120 \quad \text{(OK)}$$

$$q_2 = \frac{884.4}{3 \times 3.6}\left(1 - 6\,\frac{0.262}{3.6}\right) = 46.1 \text{ KN/m}^2 \quad (0 < q_2 < q_{an})$$

٢- رسم مخطط الإجهادات باعتبار الأحمال القصوى

$$e = \frac{302}{1091} = 0.277 \text{ m}$$

$$q_1 = \frac{1091}{3 \times 3.6}\left(1 + 6\,\frac{0.277}{3.6}\right) = 148 \text{ KN/m}^2$$

$$q_2 = \frac{1091}{3 \times 3.6}\left(1 - 6\,\frac{0.277}{3.6}\right) = 54 \text{ KN/m}^2$$

٣- تحقيق القص ثنائي الاتجاه

للتحقيق على القص ثنائي الاتجاه يحسب رد فعل التربة على الأساس باعتبار القوة المحورية فقط ، حيث إن محصلة رد فعل التربة باعتبار العزم M_y يكون صفراً، باعتبار d=0.55

$$q_u = \frac{1091}{3 \times 3.6} = 101 \text{ KN/m}^2$$

$$V_u = q_u \times [A \times B - (a+d) \times (b+d)]$$

$$V_u = 101 \times [3.0 \times 3.6 - (0.3+0.55) \times (0.6+0.55)] = 992 \text{ KN}$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_o = 2(0.3+0.55) + 2(0.6+0.55) = 4 \text{ m}$$

$$V_c = \min\left[\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\frac{\sqrt{f'c}}{6} b_0 d \text{ ، } \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right)\frac{\sqrt{f'c}}{12} b_0 d \text{ ، } \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\, b_0 d\right]$$

$$(1+\frac{2}{2})\frac{\sqrt{30}}{6}4\times0.55\times1000=4017\ KN,$$

$$(\frac{40\times0.55}{4.2}+2)\frac{\sqrt{30}}{12}4\times0.55\times1000=7268\ KN,$$

$$\frac{\sqrt{30}}{3}(4\times0.55)\times1000=4017\ KN,$$

$$V_c=\min(4017,\ 7268,\ 4017)=4017\ KN$$

$$V_u=992<0.75\times4017=3013\ KN\ (Ok.)$$

٤- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

للتحقيق على القص أحادي الاتجاه يحسب رد فعل التربة على الأساس باعتبار القوة المحورية والعزم M_y

$$V_u=q_uB(C-d)$$

$$q_u=(148+123.2)/2=135.6\ KN/m^2$$

$$V_u=135.6\times3\ (1.5-0.55)=386\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd$$

$$V_c=\frac{\sqrt{30}}{6}(3.0\times0.55)\times1000=1506\ KN$$

$$V_u=386<0.75\times1506=1129.5\text{ (Ok.)}$$

٥- حساب التسليح لمقاومة عزم الانحناء

(أ) الاتجاه الطويل

$$M_u = q_u\, L_a^2/2$$

$$M_u=108.8\times1.5^2/2+(148-108.8)1.5^2/3=151.8\text{ KN.m/m}$$

$$\rho = \rho_{min}=0.0018$$

(ب) الاتجاه القصير

$$M_u=101\times1.35^2/2=92\text{ KN.m/m}$$

$$\rho = \rho_{min}=0.0018$$

المثال (٤,٢): تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم (إجهاد ضغط جزئي)

Design of Eccentrically-loaded Footing – partially-compressed

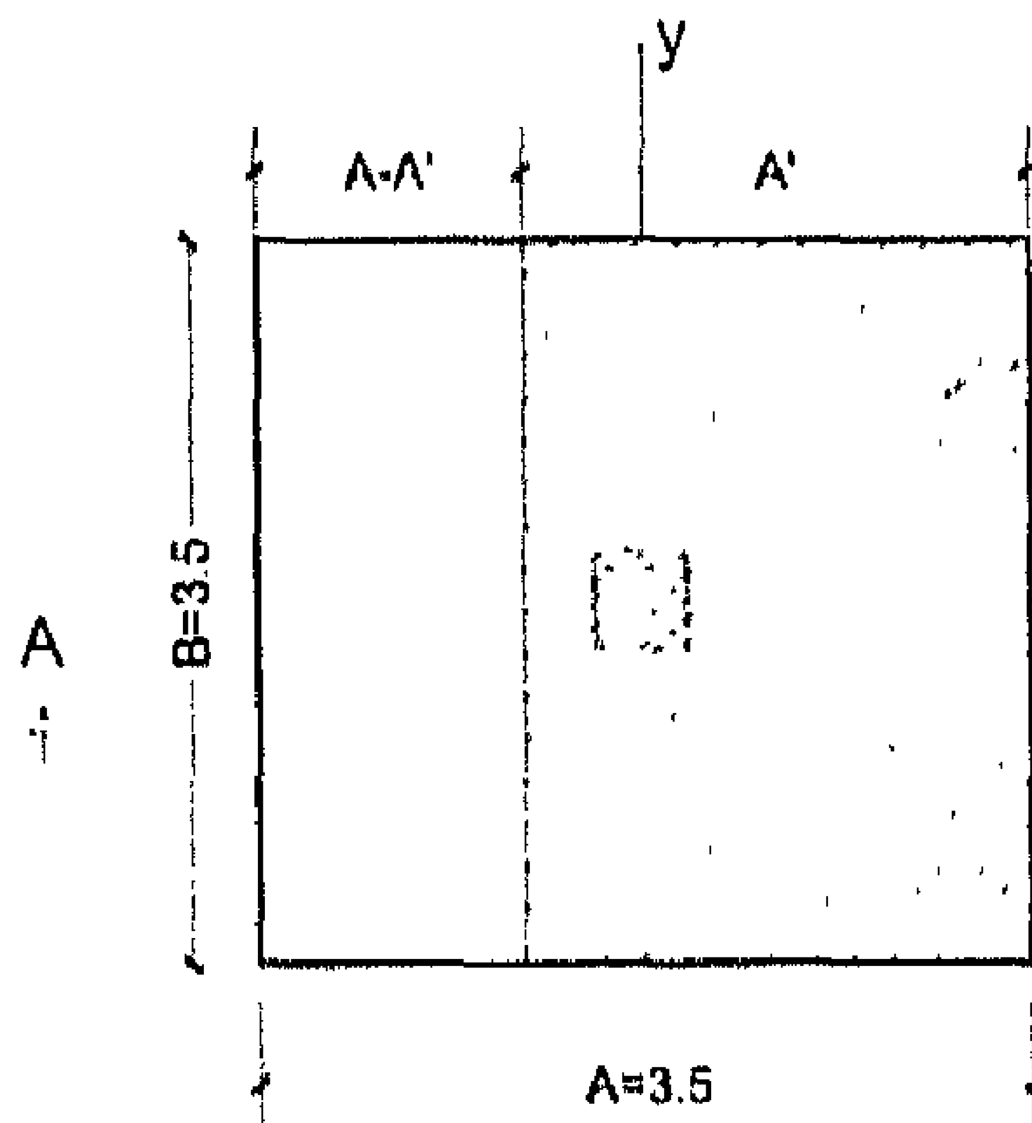
يطلب تصميم قاعدة من الخرسانة المسلحة لعمود 40×40 cm، (انظر الشكل رقم ٢,١٢) ينقل إلى القاعدة الأحمال الموضحة في الجدول رقم (٢,٢)، علماً أن المقاومة الإسطوانية المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 25$ MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y = 414$ MPa وتحمل التربة الصافي $q_{un} = 150$ KPa وأن أبعاد القاعدة 3.5×3.5 m.

الغاية من المثال

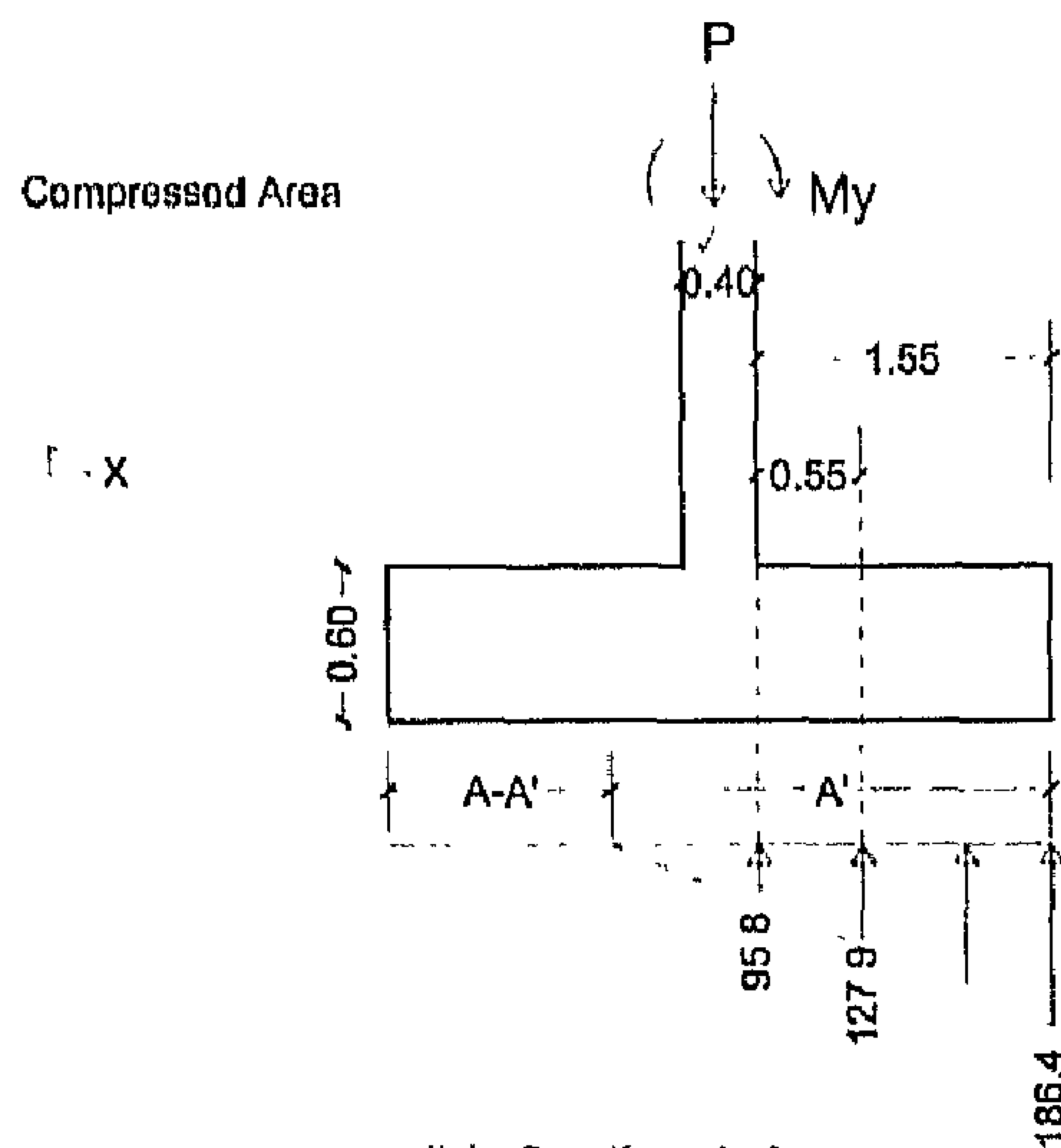
تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزم انحناء (إطار خرساني - إجهاد ضغط على التربة بشكل جزئي).

الجدول رقم (٢,٢). الأحمال المطبقة على الأساس.

	نوع الحمل	أحمال تشغيلية	أحمال قصوى
P (D+ L), KN	قوة محورية	800	1040
My (D+L), KN.m	العزم حول المحور y	550	715



(a): Footing Plan



(b): Section A-A

الشكل رقم (٢,١٢). (a) مسقط القاعدة، (b) مقطع رأسي في القاعدة.

١- التحقق من كون الضغط على التربة أقل من التحمل المسموح

على فرض أن ارتفاع القاعدة h=0.6m (وبالتالي الارتفاع الفعال d=0.55 m)

فرق وزن الخرسانة المسلحة عن تربة الردم

$$W = 3.5 \times 3.5 \times 0.6\ (25-18) = 51.5\ KN$$

$$P_{total} = 800 + 51.5 = 851.5\ KN$$

$$e = 550/851.5 = 0.646$$

$$\ell / 6 = 3.5/6 = 0.58\ m e >$$

$$q_{max} = \frac{4P}{3L(B-2e)}$$

$$q_{max} = \frac{4 \times 851.5}{3 \times 3.5\left(3.5 - 2 \times 0.646\right)} = 147 < 150\ KN/m^2\ (OK.)$$

٢- رسم مخطط الإجهادات باعتبار الأحمال القصوى (انظر الشكل رقم ٢,١٤ b)

$$e = \frac{715}{1040} = 0.6875\ m$$

$$A' = 3(0.5A - e) = 3(0.5 \times 3.5 - 0.6875) = 3.1875\ m$$

$$q_u = 4 \times 1040 / [3 \times 3.5\ (3.5 - 2 \times 0.6875)] = 186.4\ KN/m^2$$

٣- تحقيق القص ثنائي الاتجاه

يتم اعتبار الحمل الرأسي فقط في تحقيق القص ثنائي الاتجاهK وذلك باعتبار كامل الحمل للسهولة ولصالح الأمان

$$P_u = 1040\ KN$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_o = 4(0.4+0.55) = 3.8\ m$$

$$V_c = \min\left[(1+\frac{2}{\beta})\frac{\sqrt{f'c}}{6}b_o d,\ (\frac{\alpha_s d}{b_o}+2)\frac{\sqrt{f'c}}{12}b_o d,\ \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\,b_o d\right]$$

$$(1+\frac{2}{1})\frac{\sqrt{25}}{6}3.8\times0.55\times1000 = 5225\ KN,$$

$$(\frac{40\times0.55}{3.8}+2)\frac{\sqrt{25}}{12}3.8\times0.55\times1000 = 6783\ KN,$$

$$\frac{\sqrt{25}}{3}(3.8\times0.55)\times1000 = 3483\ KN,$$

$$V_c = \min(5225, 6783, 3483) = 3483\ KN$$

$$V_u = 1040 < 0.75\times3483 = 2612\ KN\ (Ok.)$$

٤- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

للتحقيق على القص أحادي الاتجاه يحسب رد فعل التربة على الأساس باعتبار القوة المحورية والعزم M_y

$$V_u = q_u B(C-d)$$

$$q_u=(186.4+127.9)/2= 157.2\ KN/m^2$$

$$V_u = 157.2\times3.5\ (1.55-0.55)= 550\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd$$

$$V_c=\frac{\sqrt{25}}{6}(3.5\times0.55)\times1000=1604\ KN$$

$$V_u=550<0.75\times1604=1203\ KN\ (Ok.)$$

٥- حساب التسليح لمقاومة عزم الانحناء

(أ) الاتجاه الطويل

$$M_u = q_u\ L_a^2/2$$

$$M_u=95.8\times1.55^2/2+(186.4-95.8)1.55^2/3=187.6\ KN.m/m$$

$$\rho = \rho_{min}=0.0018$$

(ب) الاتجاه القصير

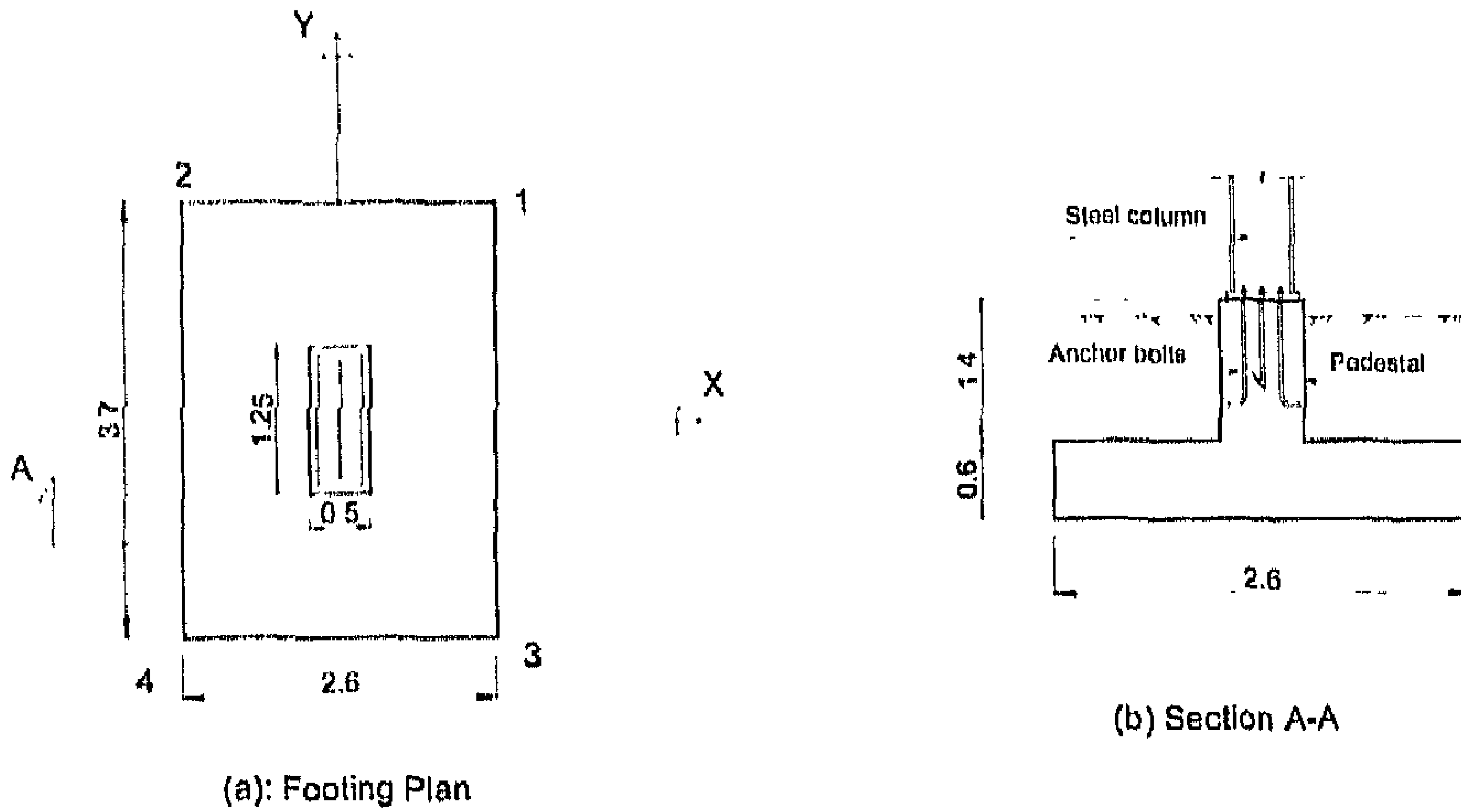
$$M_u=(186.4/2)\times1.55^2/2=112\ KN.m/m$$

$$\rho = \rho_{min}=0.0018$$

المثال (٢,٥): تحقيق قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزمي انحناء

Checking of Spread Footing Subject to Normal Force & 2 Moments

المطلوب تصميم قاعدة إطار معدني موضحة بالشكل رقم (٢,١٣) وذلك من أجل حالتي التحميل الموضحتين في الجدول رقم (٢,٣) (حمل ميت + حمل حي ناتجان عن حركة رافعة بمسار معين في كل حالة) علمًا أن تحمل التربة $q_a = 140$ KPa وأن المقاومة الإسطوانية المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 25$ MPa وللحديد $f_y = 414$ MPa.



الشكل رقم (٢,١٣). قاعدة معرضة لقوة محورية وعزمين: (a) مسقط القاعدة، (b) مقطع رأسي في القاعدة.

الغاية من المثال

تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوة محورية وعزمي انحناء (إطار معدني) بشكل تفصيلي.

الجدول رقم (٢,٣). الأحمال التشغيلية المؤثرة على القاعدة.

	P (KN)		Hx (KN)	Hy (KN)	Mx (KN.m)	
Load Type	D	L	L	L	D	L
Case1	260	143	0	39	160	82
Case2	220	117	41	39	125	55

١- التحقق من كفاية تحمل التربة

وزن رقبة العمود $1.4\times0.5\times1.25\times25 = 21.875$ KN

وزن القاعدة $3.7\times2.6\times0.6\times25 = 144.3$ KN

وزن الردم فوق القاعدة $[(2.6\times3.7) - (0.5\times1.25)]\times1.4\times18 = 226.7$ KN

(أ) الحالة Case1

إجمالي الأحمال الرأسية على القاعدة :

$$P_{total} = 260+143+21.875+144.3+226.7 = 795.9 \text{ KN}$$

$$My = 160+82+39\times(1.4+0.6) = 320 \text{ KN.m}$$

$$q_{1,2} = \frac{P}{AB}+\frac{6Mx}{AB^2} = \frac{795.9}{2.6\times3.7}+\frac{6\times320}{2.6\times3.7^2} = 136.7 < 140 \text{ KN/m}^2\text{(OK.)}$$

$$q_{3,4} = \frac{P}{AB}-\frac{6Mx}{AB^2} = \frac{795.9}{2.6\times3.7}-\frac{6\times320}{2.6\times3.7^2} = 28.8 < 140 \text{ KN/m}^2\text{(OK.)}$$

(ب) الحالة Case2

$$P_{total} = 220+117+21.875+144.3+226.7 = 730 \text{ KN}$$

$$Mx = 125+55+39\times(1.4+0.6) = 258 \text{ KN.m}$$

$$My = 41(1.4+0.6) = 82 \text{ KN.m}$$

$$q = \frac{P}{AB}\pm\frac{6Mx}{AB^2}\pm\frac{6My}{BA^2} = \frac{730}{2.6\times3.7}\pm\frac{6\times258}{2.6\times3.7^2}\pm\frac{6\times82}{3.7\times2.6^2}$$

$q_1 = 75.9 + 43.5 + 19.7 = 139.1 \ KN/m^2 \ (0 < result < 140)$ OK.

$q_2 = 75.9 + 43.5 - 19.7 = 99.7 \ KN/m^2 \ (0 < result < 140)$ OK.

$q_3 = 75.9 - 43.5 + 19.7 = 52.1 \ KN/m^2 \ (0 < result < 140)$ OK.

$q_4 = 75.9 - 43.5 - 19.7 = 12.7 \ KN/m^2 \ (0 < result < 140)$ OK.

٢- رسم مخططات الإجهادات باعتبار الأحمال القصوى

(أ) الحالة Case1 (انظر الشكل رقم ٢,١٤ b,c)

$P_u = 1.2(260+21.875) + 1.6\times143 = 567.1 \ KN$

$Mx_u = 1.2\times160+1.6\times82+1.6\times39\times(1.4+0.6) = 448 \ KN.m$

$q_P = P_u / Area = \frac{567.1}{2.6 \times 3.7} = 59 \ KN/m^2$

$q_{Mx} = 6 \ Mx_u/(A\times B^2) = \frac{6 \times 448}{2.6 \times 3.7^2} = 75.5 \ KN/m^2$

(ب) الحالة Case2 (انظر الشكل رقم ٢,١٤ e,f,g)

$P_u = 1.2(220+21.875)+1.6\times117 = 477.5 \ KN$

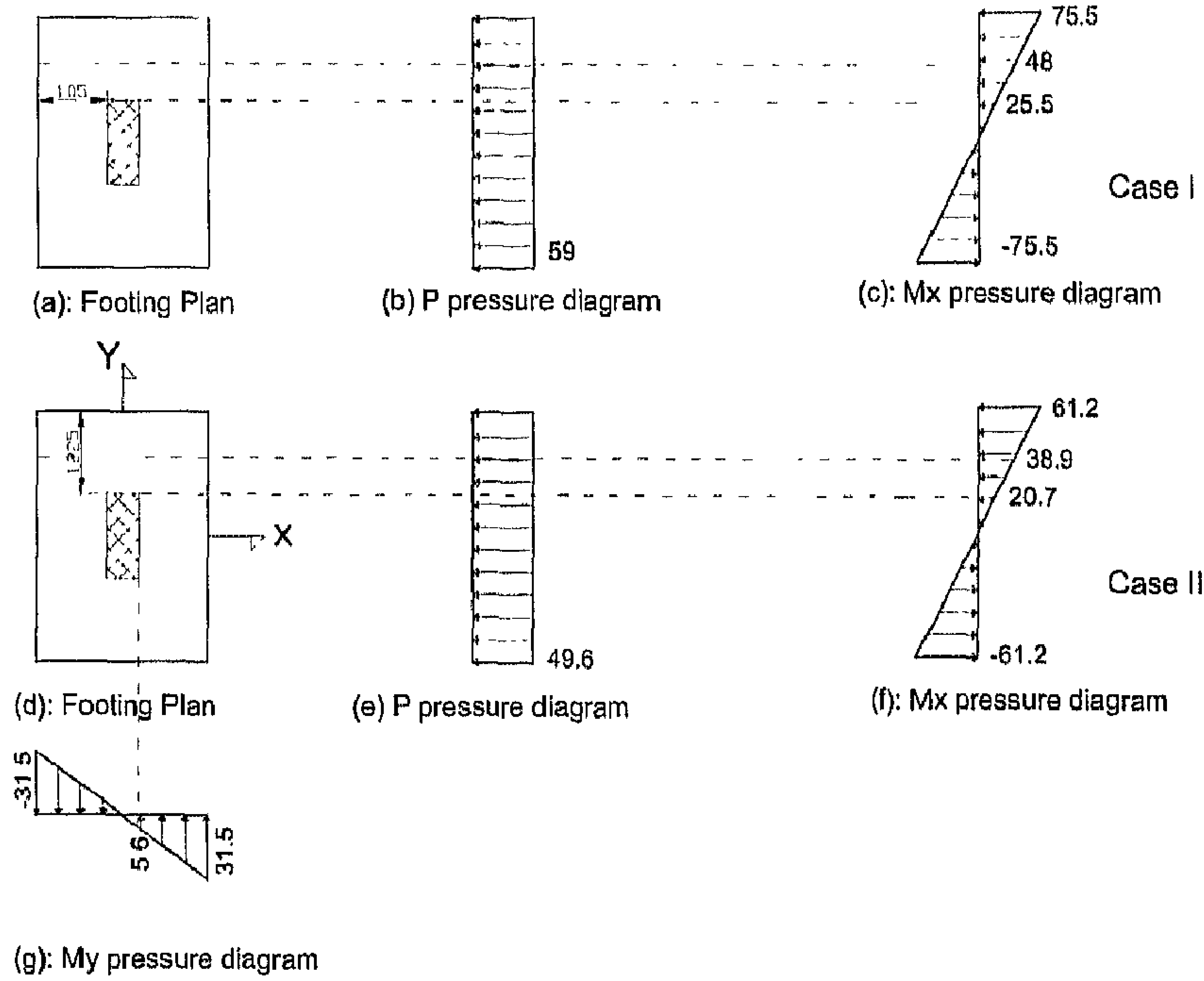
$Mx_u = 1.2\times125+1.6[55+39(1.4+0.6)] = 362.8 \ KN.m$

$$My_u = [41\times(1.4+0.6)]\times1.6 = 131.2 \text{ KN.m}$$

$$q_p = P_u / \text{Area} = \frac{477.5}{2.6\times3.7} = 49.6 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{Mx} = 6\ Mx_u / (A\times B^2) = \frac{6\times362.8}{2.6\times3.7^2} = 61.2 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{My} = 6\ My_u / (B\times A^2) = \frac{6\times131.2}{3.7\times2.6^2} = 31.5 \text{ KN/m}^2$$



الشكل رقم (٢,١٤). مخططات رد فعل التربة لقاعدة معرضة لقوة محورية وعزمين: (a) مسقط القاعدة، (b) مخطط الإجهاد للقوة المحورية الحالة I، (c) مخطط الإجهاد للعزم Mx الحالة I، (d) مسقط القاعدة، (e) مخطط الإجهاد للقوة المحورية الحالة II، (f) مخطط الإجهاد للعزم Mx الحالة II، (g) مخطط الإجهاد للعزم My الحالة II.

٣- التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

باعتبار أن ارتفاع القاعدة h = 0.6 وارتفاعها الفعال d = 0.55 وملاحظة أنه عند حساب جهد القص الحدي V_u يتم اعتبار مخطط الإجهاد الناتج عن الحمل P_u فقط؛ لأن محصلة رد فعل الإجهاد الناتج عن العزم "Mx, My" يساوي الصفر. علمًا أن الحالة Case1 هي الحالة الحرجة Critical case

$$V_u = q_u \times [A \times B - (a+d) \times (b+d)]$$

$$V_u = 59 \times [2.6 \times 3.7 - (0.5+0.55) \times (1.25+0.55)] = 456.1 \text{ KN}$$

$$b_0 = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_0 = 2(0.5+0.55) + 2(1.25+0.55) = 5.7 \text{ m}$$

$$V_c = \min \left[(1+\frac{2}{\beta})\frac{\sqrt{f'c}}{6}b_0 d, (\frac{\alpha_s d}{b_0}+2)\frac{\sqrt{f'c}}{12}b_0 d, \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\,b_0 d \right]$$

$$(1+\frac{2}{1.25/0.5})\frac{\sqrt{25}}{6}(5.7\times 0.55)\times 1000 = 4702.5 \text{ KN}$$

$$(\frac{40\times 0.55}{5.7}+2)\frac{\sqrt{25}}{12}5,7\times 0.55\times 1000 = 7654 \text{ KN},$$

$$\frac{\sqrt{25}}{3}(5.7\times 0.55)\times 1000 = 5225 \text{ KN},$$

$$V_c = \min(4072.5, 7654, 5225) = 4072.5 \text{ KN}$$

V_u=456.1<0.75×4702.5=3527 KN (Ok.)

٤- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

للتحقيق على القص أحادي الاتجاه يحسب رد فعل التربة على الأساس باعتبار القوة المحورية والعزم Mx حيث إن الحالة Case1 هي الحالة الحرجة

$$V_u = q_u B(C\text{-}d)$$

$$q_u=[59+(75.5+48)/2]= 120.75 \text{ KN/m}^2$$

$$V_u=120.75\times 2.6\ (1.225-0.55)= 211.9 \text{ KN}$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd$$

$$V_c=\frac{\sqrt{25}}{6}(2.6\times 0.55)\times 1000=1192 \text{KN}$$

$$V_u=211.9<0.75\times 1192=894 \text{ (Ok.)}$$

٥- حساب التسليح بالاتجاه الطويل (الحالة Case1 هي الحرجة)

$$M_u = (59+25.5)\times 1.225^2/2+(75.5-25.5)\times 1.225^2/3 = 88.4 \text{ KN.m/m}$$

$$\mu= \mu_{min} = 0.0018$$

٦- حساب التسليح بالاتجاه القصير

(أ) الحالة Case1

$$M_u = 59 \times 1.05^2 / 2 = 32.5 \text{ KN.m/m}$$

$$\mu = \mu_{min} = 0.0018$$

(ب) الحالة Case2

$$M_u = [(49.6+5.6)\times(1.05)^2 /2]+[(31.5-5.6)\times(1.05)^2 /3] = 39.95 \text{ KN.m/m}$$

$$\mu = \mu_{min} = 0.0018$$

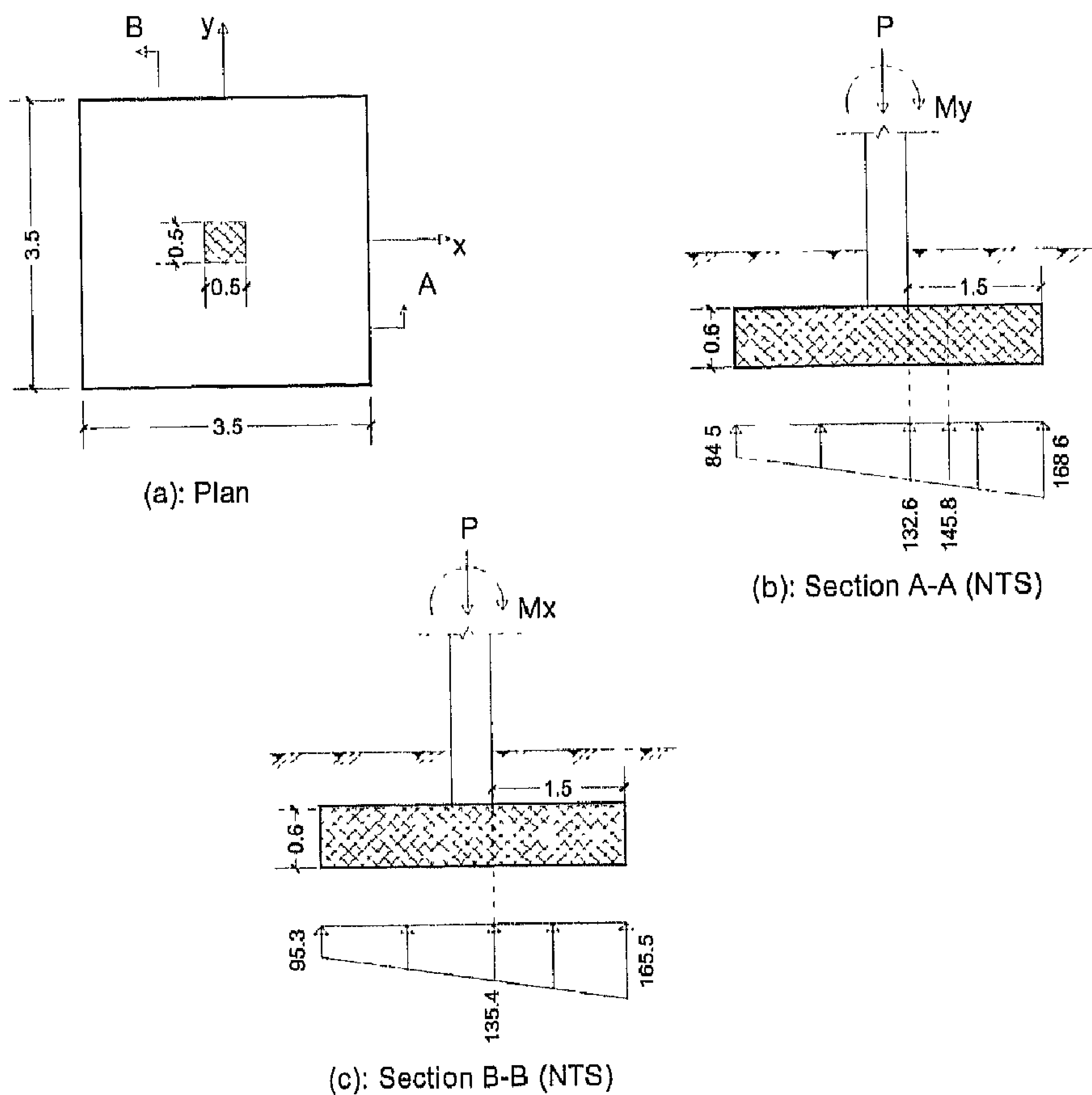
المثال (٢,٦): تحقيق قاعدة منفصلة معرضة لقوى جاذبية وزلازل

Checking of Spread Footing Subject to Normal Force & Seismic Loading

نفس المثال (٢,١) مع اعتبار حالتي التحميل التاليتين الناجمتين عن تركيب الأحمال الميتة والحية الزلازل بالاتجاهين x, y على التوالي، (انظر الشكل رقم (٢,١٥) والجدول رقم (٢,٤)) مع العلم أنه يمكن استخدام المعامل f2=1.1 لتحويل تراكيب الأحمال - تشمل حمل الزلازل - القصوى إلى تركيب الأحمال التشغيلية بشكل تقريبي والمعامل f3=1.33 لزيادة تحمل التربة باعتبار تجميع أحمال تشمل حملا انتقاليا (زلازل)، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوى جاذبية وزلازل (قوة محورية وعزم) بشكل تفصيلي.



الشكل رقم (٢,١٥). قاعدة منفصلة معرضة لقوى جاذبية وزلازل: (a) مسقط القاعدة، (b) المقطع A-A، (c) المقطع B-B.

الجدول رقم (٢,٤). الأحمال القصوى المؤثرة على القاعدة.

	P (Ultimate) (KN)	My (Ultimate) (KN.m)	Mx (Ultimate) (KN.m)
Comb1 (1.2D+1.0L+1.0Ex)	1550	300	0
Comb2 (1.2D+1.0L+1.0Ey)	1600	0	250

١ - التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة (بإهمال فرق وزن الخرسانة عن التربة)

(أ) حالة التركيب comb1 (الشكل رقم ١٥ ,٢ b)

$$e = My/P = 300/1550 = 0.194\ m$$

$$q = P/A(1 \pm 6e/L)$$

$$q1,2 = [1550/(3.5^2)] \times (1 \pm 6 \times 0.194/3.5)$$

$$q1 = 168.6,\ q2 = 84.5\ KN/m^2$$

$$q1 = 168.6 < f2 \times f3 \times q_{an} = 1.1 \times 1.33 \times 117.5 = 172\ KN/m^2\ \ (Ok.)$$

$$q2 = 84.5\ KN/m^2\ \ (0 < result < 172)\ Ok.$$

(ب) حالة التركيب comb2 (الشكل رقم ١٥ ,٢ c)

$$e = Mx/P = 250/1600 = 0.156\ m$$

$$q = P/A(1 \pm 6e/L)$$

$$q1,2 = [1600/(3.5^2)] \times (1 \pm 6 \times 0.156/3.5)$$

$$q1 = 165.5,\ q2 = 95.3\ KN/m^2$$

$$q1 = 165.5 < f2 \times f3 \times q_{an} = 1.1 \times 1.33 \times 117.5 = 172 \text{ KN/m}^2 \quad \text{(Ok.)}$$

$$q2 = 95.3 \text{ KN/m}^2 \quad (0 < \text{result} < 172) \text{ Ok.}$$

٢- التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن ارتفاع الأساس h = 0.6 m والارتفاع الفعال d = 0.55 وعلى اعتبار القوة المحورية فقط (التركيب Comb2 هو التركيب الحرج)

$$q_u = 1600/(3.5^2) = 131 \text{ KN/m}^2$$

$$V_u = q_u \times [A \times B - (a+d) \times (b+d)]$$

$$V_u = 131 \times [2.6 \times 3.7 - (0.5+0.55) \times (0.5+0.55)] = 1116 \text{ KN}$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_o = 2(0.5+0.55) + 2(0.5+0.55) = 4.2 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d, \quad V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(4.2 \times 0.55) \times 1000 = 4217 \text{ KN}$$

$$V_u = 1116 < 0.75 \times 4217 = 3163 \text{ KN (Ok.)}$$

٣- التحقيق على القص أحادي الاتجاه : (Comb1 هي الحالة الحرجة)

$$V_u = q_u B(C-d)$$

$$V_u = [(168.6+145.8)/2]\times 3.5(1.5-0.55) = 523 \text{ KN}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd ,\ V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(3.5\times 0.55)\times 1000 = 1757 \text{ KN}$$

$$V_u = 523 < 0.75\times 1757 = 1318 \text{ (Ok.)}$$

٤- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء

(أ) الاتجاه X ، (التركيب Comb1 هو التركيب الحرج)

$$M_u = 132.6\frac{1.5^2}{2} + (168.6-132.6)\frac{1.5^2}{3} = 176 \text{ KN.m/m}$$

$$\mu = \mu_{min} = 0.0018$$

(ب) الاتجاه Y (التركيب Comb2 هو التركيب الحرج)

$$M_u = 135.4\frac{1.5^2}{2} + (165.5-135.4)\frac{1.5^2}{3} = 175 \text{ KN.m/m}$$

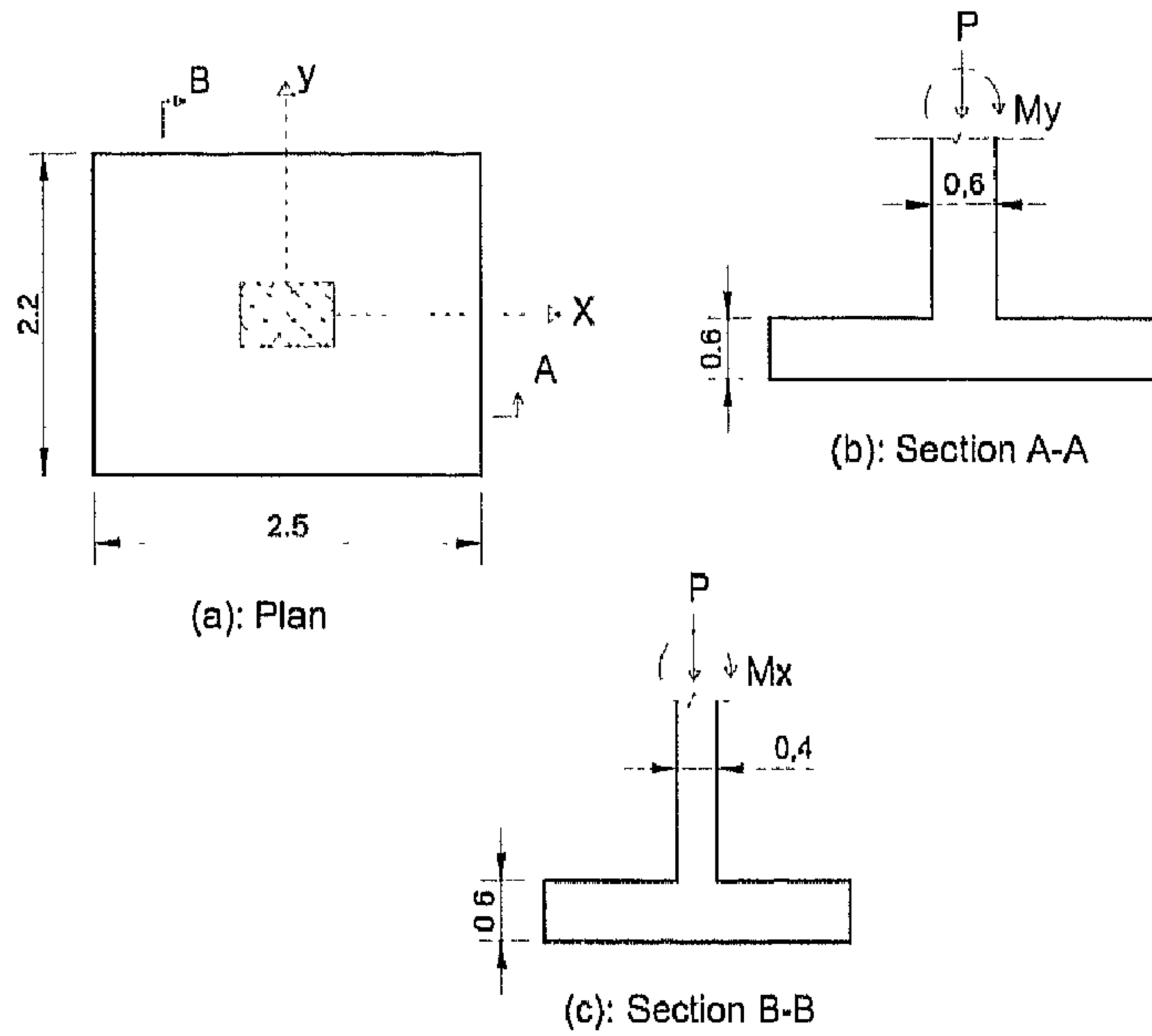
$$\rho = \rho_{min} = 0.0018$$

المثال (٢,٧): تحقيق قاعدة منفصلة معرضة لقوة وعزمين – لامركزية خارج الثلث الأوسط

Checking of Spread Footing with Normal Force & Two Moments- eccentricity is Out of the Middle Third

صمم قاعدة مستطيلة تحمل عموداً بأبعاد 0.4×0.6 m ، (انظر الشكل رقم ٢,١٦) علماً أن الأحمال (ميتة + حية + زلازل بالاتجاه x) موضحة في الجدول رقم (٢,٥) وأن

تحمل التربة $q_{an} = 350$ KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 30$ MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y = 414$ MPa مع العلم أنه يمكن استخدام المعامل f2=1.1 والمعامل f3=1.33، (انظر الملحق B1).



الشكل رقم (٢,١٦). قاعدة معرضة لقوة محورية وعزمين – لامركزية خارج الثلث الأوسط: (a) مسقط القاعدة، (b) المقطع الرأسي A-A، (c) المقطع الرأسي B-B.

الغاية من المثال

تصميم قاعدة منفصلة معرضة إلى قوى جاذبية وزلازل (قوة محورية وعزمين) – حالة اللامركزية خارج الثلث الأوسط ، استخدام خاصية إلغاء الشد Non-linear uplift iterative analysis.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE ، الخطوات التفصيلية للنموذج التحليلي موضحة في الملحق D1.

الجدول رقم (٢,٥). الأحمال المؤثرة على الأساس.

حالة التحميل	P (KN)	M_x (KN.m)	M_y (KN.m)
D	700	80	-
L	250	20	-
Ex	20	-	550
Comb0: D+L	950	100	-
Comb1: D+L+Ex	970	100	550
Comb2: 1.2 D + 1.6L	1240	128	-
Comb3: 1.2 D + 1.0 L + 1.0 Ex	1110	116	550

١ – التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة مبدئيًا

(بإهمال فرق وزن خرسانة الأساس عن التربة مبدئيًا)

(أ) الحالة (D+L)

$$e_y = Mx/P = 100/950 = 0.105 \text{ m}$$

$$e_y < B/6 = 2.2/6 = 0.37 \text{ m}$$

اللامركزية تقع ضمن الثلث الأوسط، ويتم لاحقا معرفة قيمة الإجهاد الأعظمي ومقارنته مع تحمل التربة.

(ب) الحالة (D+L+Ex)

$$e_x = My/P = 550/970 = 0.57 \text{ m}$$

$$e_x > L/6 = 2.5/6 = 0.417 \text{ m}$$

$$e_y = Mx/P = 10/97 = 0.1 \text{ m}$$

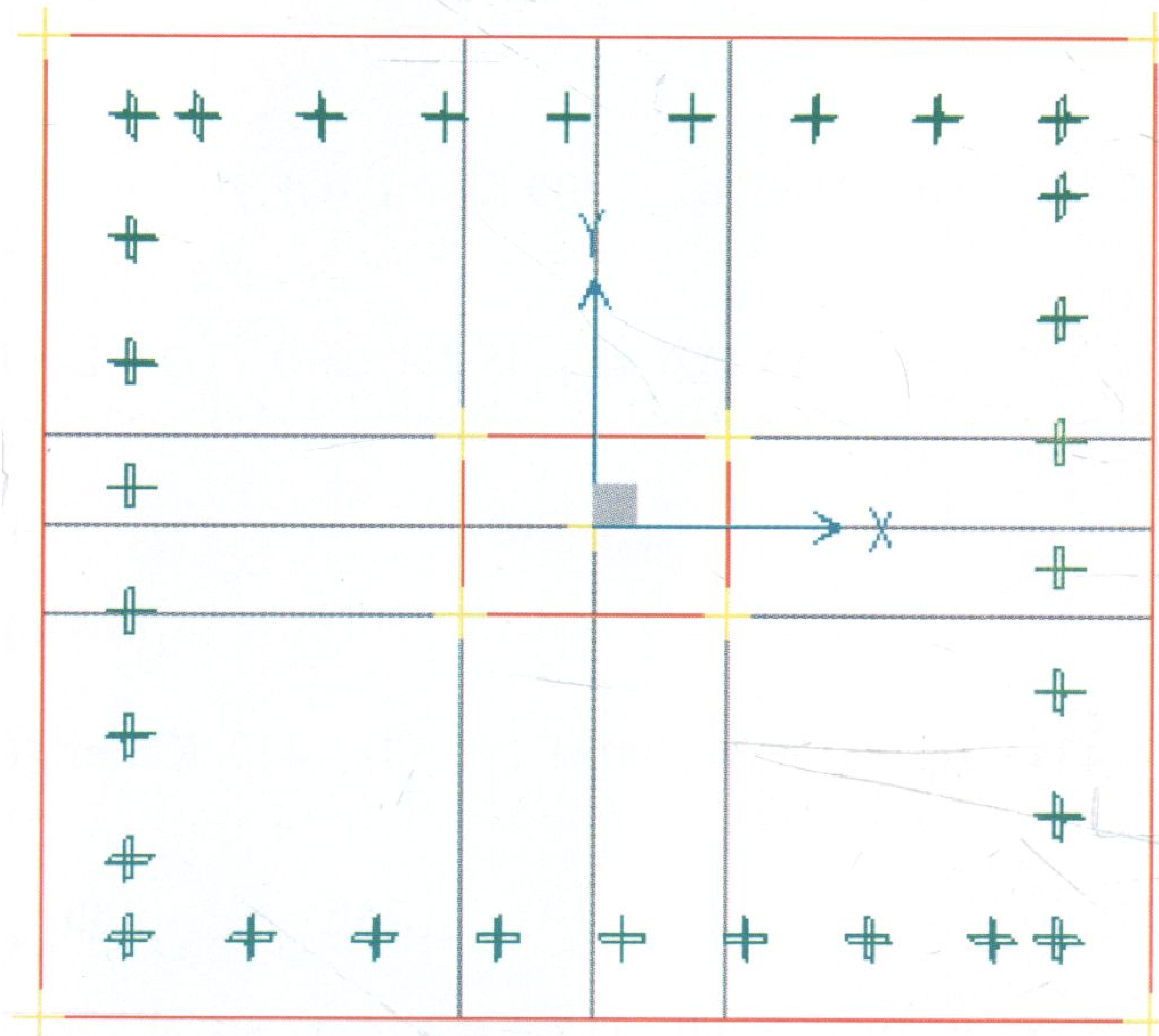
$$e_y < B/6 = 2.2/6 = 0.37\ m$$

نستنتج أن اللامركزية تقع خارج الثلث الأوسط ، ويجب حل المسالة باستخدام خاصية إلغاء الشد Non-linear uplift iterative analysis.

٢- النموذج التحليلي M1 : (انظر الشكل رقم ٢,١٧)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing سماكة ٦٠ سم ، أما الأعمدة فنوعها Column ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقاً لمعامل رد فعل التربة

$$K_s = 120 \times 300 = 36000\ KN/m^3$$



الشكل رقم (٢,١٧). النموذج التحليلي M1.

ويتم تعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null وذلك لإدخال الأحمال وفق مساحة تحميل تعادل مساحة العمود. أخيرا يتم تفعيل الخيار التالي من أجل إلغاء الشد في التربة :

Analyze → Set options →Iterative for uplift

ملاحظة

يتم اعتبار معامل الحمل الميت لإدخال وزن الأساس f=0.28 بدلا من ١ وذلك لإدخال فرق وزن الخرسانة عن تربة الردم

$$f = (2.5-1.8)/2.5 = 0.28$$

٣- التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة باعتبار نتائج التحليل الإنشائي

(أ) الحالة (D+L)

$$q = 216 < q_{an} = 300 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

(ب) الحالة (D + L + Ex)، (انظر الشكل رقم ٢,١٨)

$$q_{min} = 0$$

$$q_{max} = 434 < (q_{an} \times f2 \times f3) = (300 \times 1.1 \times 1.33) = 439 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

٤- التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

باعتبار أن ارتفاع الأساس h = 0.6 m والارتفاع الفعال d = 0.55 وعلى اعتبار القوة المحورية فقط مع أخذ كامل حمل العمود للسهولة ولصالح الأمان (التركيب Comb2 الحالة الحرجة)

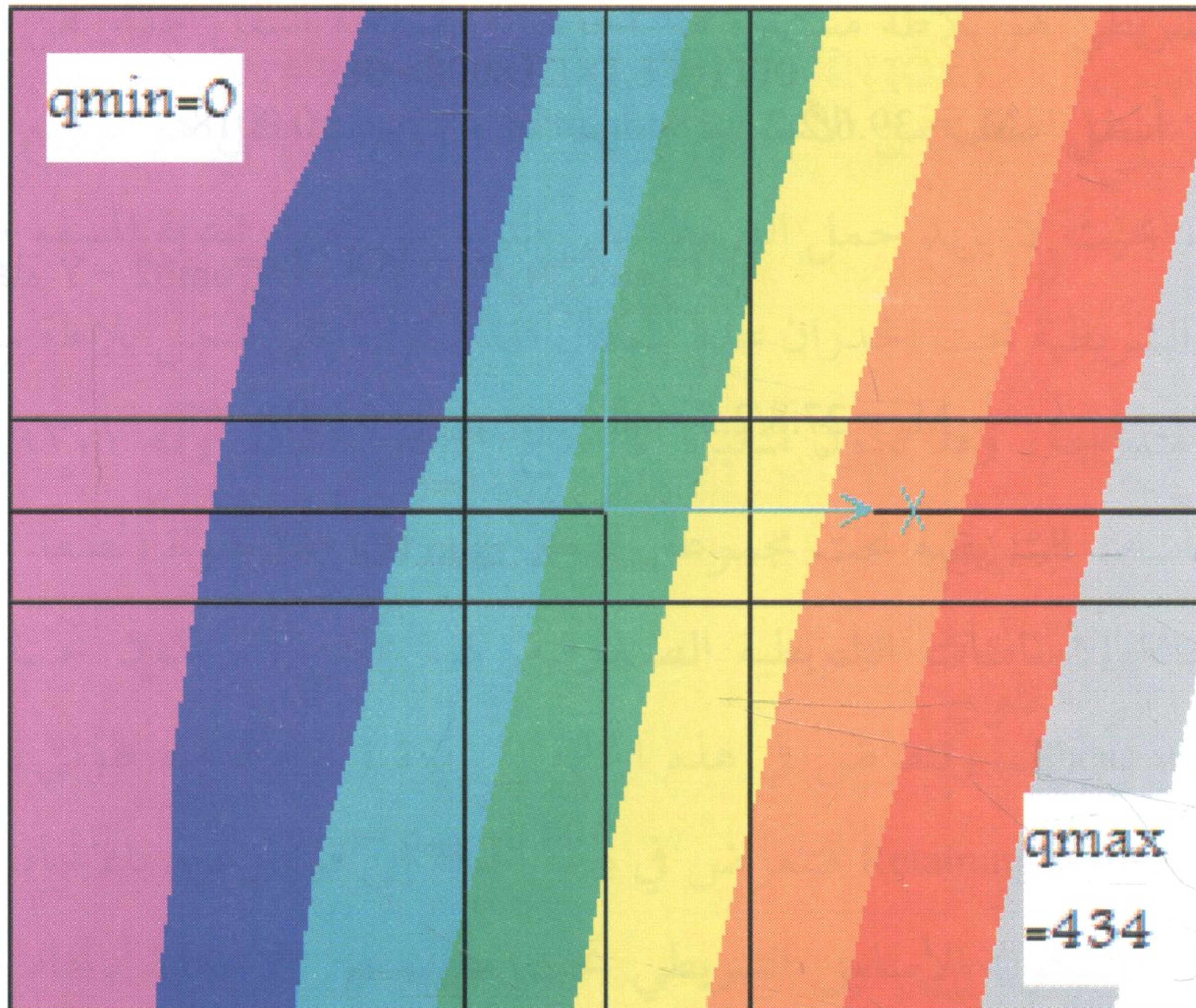
$$V_u = 1240 \text{ KN}$$

$$b_0 = 2(a+d) + 2(b+d),\ b_0 = 2(0.4+0.55) + 2(0.6+0.55) = 4.2 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d$$

$$V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(4.2 \times 0.55) \times 1000 = 4217 \text{ KN}$$

$$V_u = 1240 < 0.75 \times 421.7 = 3163 \text{ KN (Ok.)}$$



الشكل رقم (٢,١٨). إجهاد التربة — التركيب D+L+Ex.

٥- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

نجد من نتائج التحليل الإنشائي أن التركيب Comb3 هو الحالة الحرجة، وأن جهد القص المصعد بالاتجاه x على بعد d من طرف العمود:

$$V_u=417\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd,\ V_c=\frac{\sqrt{30}}{6}(3.5\times0.55)\times1000=1757\ KN$$

$$V_u=417<0.75\times1757=1318\ (Ok.)$$

٦- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء الأعظمي

(أ) الاتجاه X- Comb3

$$M_u = 39.6/2.2 = 18\ ton.m/m,\ \rho= \rho_{min} =0.0018$$

(ب) الاتجاه Y- Comb2

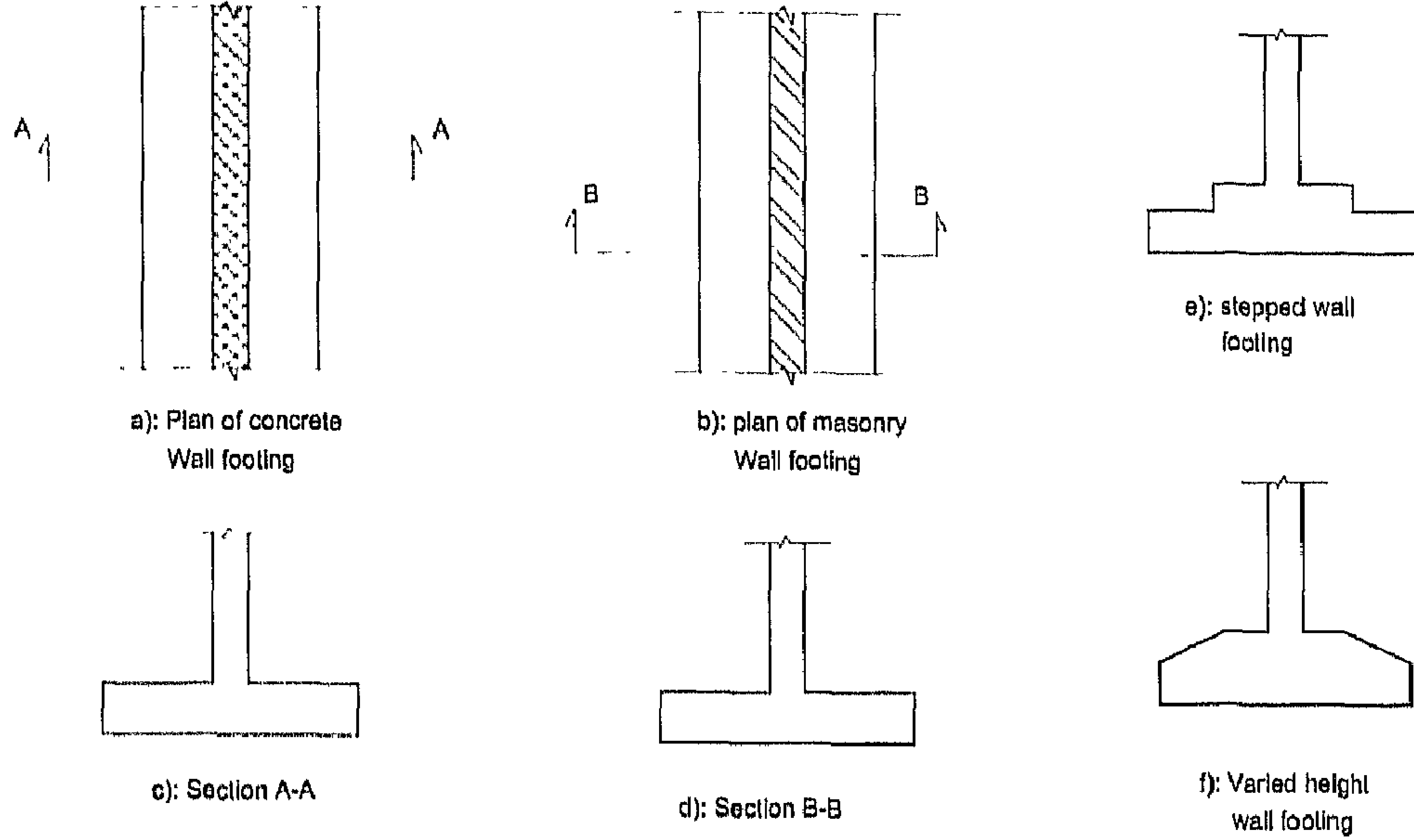
$$M_u = 27.8/2.5 = 11.1,\ \rho= \rho_{min} =0.0018$$

الفصل الثالث

الأساسات الشريطية (المستمرة)
STRIP (CONTINUOUS) FOOTINGS

(٣,١) أنواع الأساسات الشريطية
Types of Strip Footings

الأساس الشريطي هو بلاطة مستمرة من الخرسانة المسلحة أسفل جدار من الحجر أو الخرسانة أو أسفل صف من الأعمدة. وظيفة الأساس الشريطي هو توزيع الأحمال على التربة، بحيث لا يزيد حمل الضغط على التربة عن تحمل التربة المسموح. وتأخذ الأساسات الشريطية تحت الجدران عدة أشكال فقد تكون على شكل بلاطة مستطيلة، وقد تكون متدرجة، وقد تكون متغيرة الارتفاع، (انظر الشكل رقم ٣,١). يمكن أن تكون الأساسات الشريطية تحت مجموعة جدران بيت الدرج أو نواة المصعد، وتسمى في هذه الحالة الأساسات الشريطية الصندوقية. كما يمكن أن تكون تحت الجدران القصية Shear walls، وتتعرض في هذه الحالة إلى قوة وعزم باتجاه طولي، أو تحت الحائط الساند Retaining wall فتتعرض في هذه الحالة إلى قوة وعزم بالاتجاه العرضي. أخيرًا يمكن أن يكون الأساس الشريطي تحت صف من الأعمدة باتجاه واحد أو باتجاهين، يناقش هذا الفصل جميع هذه الحالات.



الشكل رقم (٣,١). أنواع الأساسات الشريطية: (a) مسقط لجدار من الخرسانة، (b) مسقط لجدار حجري، (c) مقطع A-A، (d) مقطع B-B، (e) مقطع في أساس شريطي متدرج، (f) مقطع في أساس شريطي متغير الارتفاع.

(٣,٢) تصميم الأساسات الشريطية المعرضة لقوة محورية

Design of Strip Footings Subject to Normal Force

تصمم الأساسات الشريطية المعرضة لقوة محورية بشكل مشابه تقريبًا للقواعد المنفصلة، وذلك بافتراض أن ضغط التربة يتوزع بشكل منتظم على مساحة الأساس. باعتبار شريحة من الأساس الشريطي بطول 1m يمكن اتباع الإجراء التالي (انظر الشكل رقم ٣,٢).

١- حساب عرض الأساس

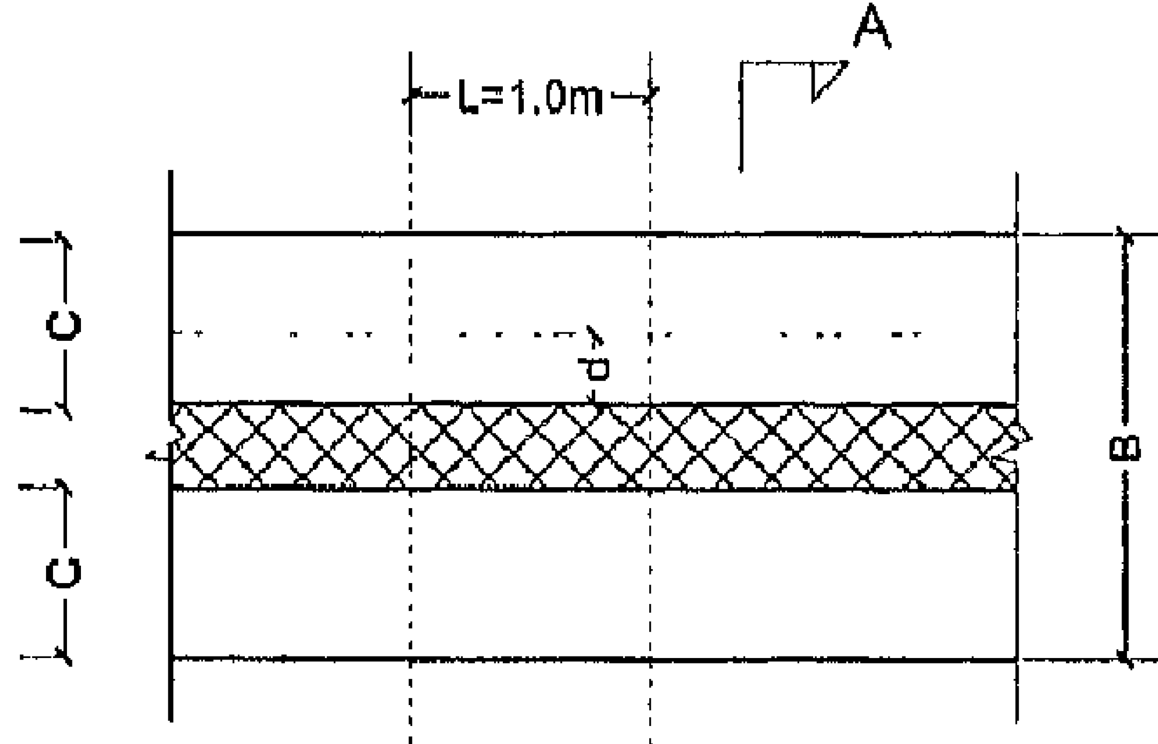
يتم حساب التحمل الصافي Net allowable bearing capacity من العلاقة التالية:

$$q_{an} = q_a - (\gamma_c h + \gamma_{soil} D1) \qquad (3.1)$$

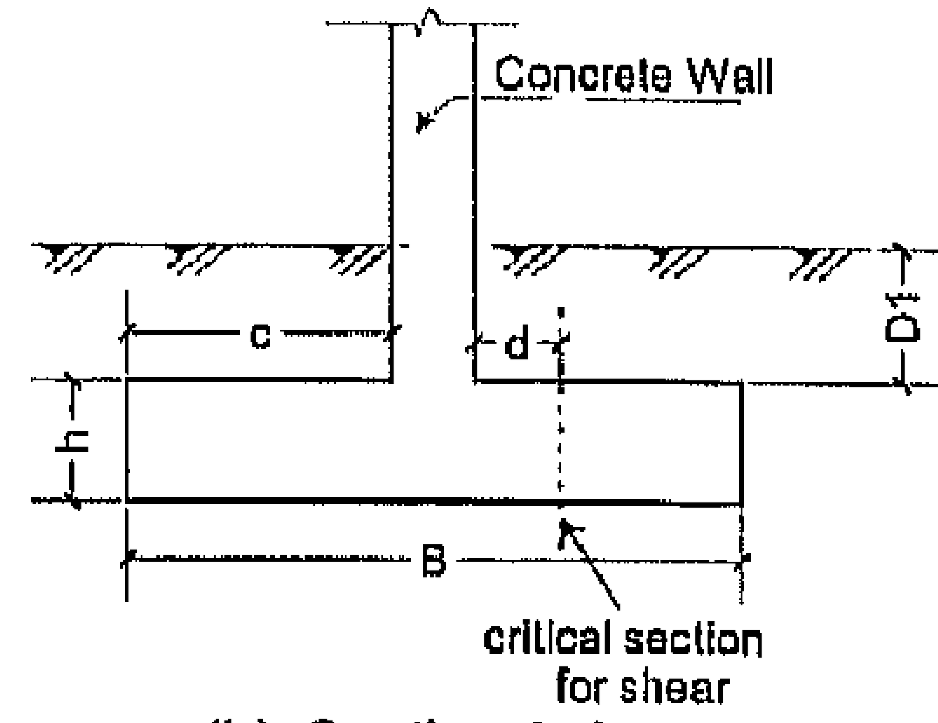
حيث إن :

γ_c هي كثافة الخرسانة (وزن وحدة الحجوم).

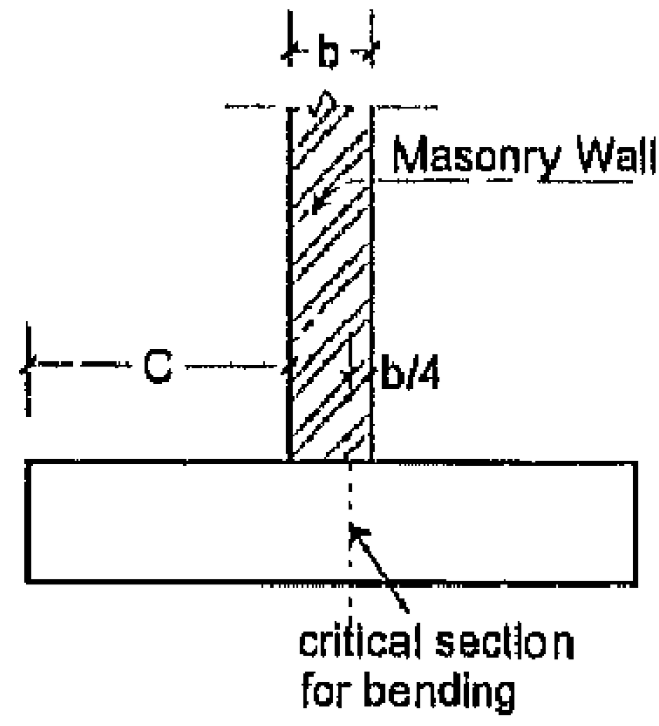
γ_{soil} هي كثافة تربة الردم فوق القاعدة.



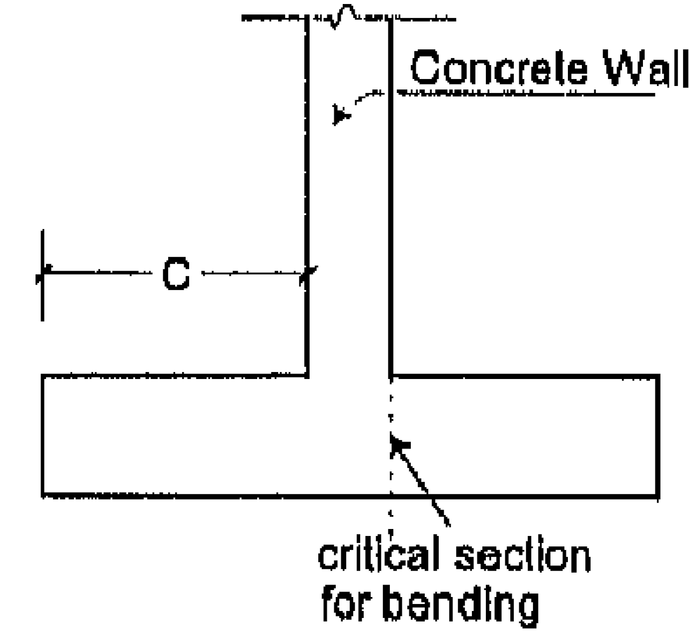
(a): Plan



(b): Section A-A



(c): Masomry wall section



(d): Concrete wall section

الشكل رقم (٣,٢). أساس شريطي معرض لقوة محورية: (a) مسقط لجدار مع أساسه، (b) المقطـــع A-A، (c) مقطع جدار حجري، (d) مقطع جدار من الخرسانة.

ومن ثم يتحدد عرض الأساس من العلاقة :

$$B = \frac{P}{q_{an}} \tag{3.2}$$

حيث إن :

B عرض الأساس.

P محصلة القوى المحورية المؤثرة على الأساس، ويمكن أن تشمل عدة حالات تجميع أحمال تشغيلية (ميتة وحية، ميتة وحية وزلازل)، (انظر الفقرة ٢,٢).

٢- التأكد من كون ارتفاع الأساس كافيًا لمقاومة القص Shear resistance

يتم افتراض قيمة معينة لارتفاع الأساس h ولارتفاعه الفعال d ومن ثم يتم تدقيق مقاومة الخرسانة للقص غير المباشر (القص وحيد الاتجاه) One-way shear. يظهر الشكل رقم (٣,٢ b) حدود المقطع الحرج للقص غير المباشر، حيث يكون على بعد (d الارتفاع الفعال) من وجه الجدار سواء كان من الخرسانة أو من الحجر/البلوك يجب تحقيق كون جهد القص الحدي V_u المؤثر على القاعدة أقل من قوة مقاومة الخرسانة الحدية المسموحة Ultimate concrete strength V_c على القص، وذلك وفق العلاقات التالية (باعتبار شريحة بطول ١ م من الأساس):

$$V_u \le \phi V_c \qquad (3.3)$$

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'c}(1.0)d \qquad (3.4)$$

حيث إن:

f'c المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط مقدرة بـ MPa.

ø =0.75 معامل تخفيض مقاومة الخرسانة على القص.

يتم حساب جهد القص الحدي المؤثر على القاعدة وفق العلاقة (3.5) وذلك بضرب إجهاد رد فعل التربة الحدي q_u بمساحة الجزء المتبقي من الأساس خارج حدود المقطع الحرج للقص على بعد d من طرف العمود:

$$V_u = q_u \times (C - d) \qquad (3.5)$$

$$q_u = P_u / (1.0 \times B) \quad (3.6)$$

حيث إن :

C بعد حافة الأساس الشريطي عن طرف الحائط ، (انظر الشكل رقم ٣,٢ a).

P_u القوة المحورية القصوى المؤثرة على الأساس وفق حالات تركيب الحمولات ، انظر الملحق B1.

٣- حساب التسليح على أساس عزم الانحناء Flexural reinforcement

يتم حساب عزم الانحناء الحدي Ultimate bending moment عند المقطع الحرج ، وهو على وجه الحائط المصنوع من الخرسانة ، (انظر الشكل رقم ٣,٢ d) وعند منتصف المسافة الكائنة بين منتصف الحائط وطرفه في حالة الجدار من البلوك Masonry wall ، انظر الشكل رقم (٣,٢ b) وفق العلاقة :

$$M_u = q_u B \frac{{L_a}^2}{2} \quad (3.7)$$

حيث إن :

M_u عزم الانحناء الحدي

$L_a = C$ ذراع الرافعة في حالة جدار من الخرسانة

$L_a = C + b/4$ ذراع الرافعة في حالة جدار من البلوك Masonry wall

ومن ثم يتم حساب التسليح وفق العلاقات التالية :

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - 2mR_u / f_y}\right) \quad (3.8)$$

$$m = fy / (0.85 f'_c) \quad \text{(i)}$$

$$R_u = M_u /[0.9(1.0)d^2] \qquad \text{(ii)}$$

$$A_s=\rho(1.0)d \qquad (3.9)$$

حيث إن:

d الارتفاع الفعال للجدار، A_s مساحة التسليح.

مع الانتباه إلى أن نسبة التسليح Reinforcement ratio ρ يجب أن تكون أكبر من الحد الأدنى وأقل من الحد الأعلى طبقا للفقرة (١,٦,٣).

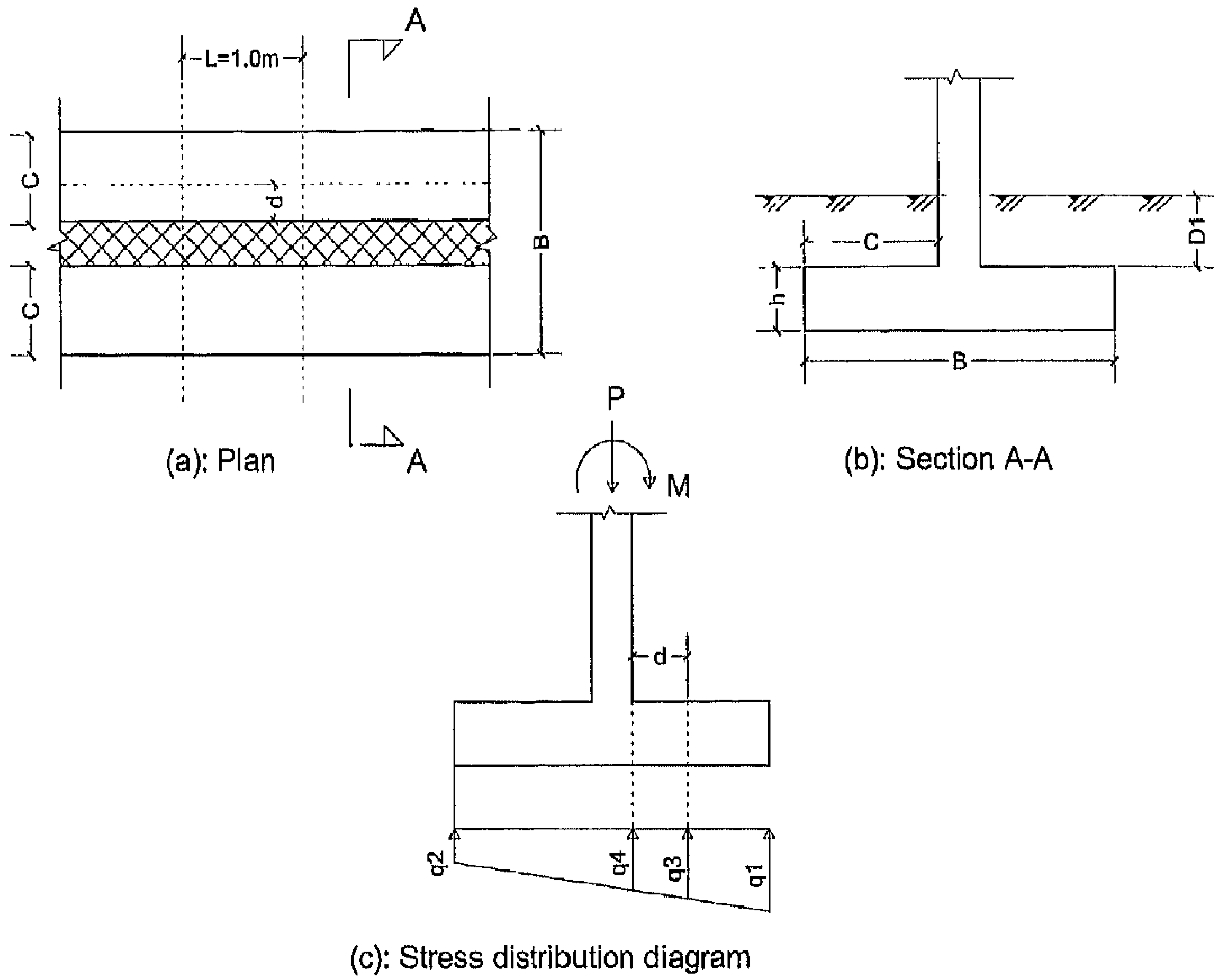
٤- تفصيل تسليح الأساس والتأكد من طول التلاحم (الإرساء) Development length

يتم رسم تفصيل التسليح من حيث القطر والعدد والتباعد والطول والموقع ويتم التأكد من طول التلاحم (الإرساء) Development length وأطوال الأشاير طبقا للكود ACI 318-08، انظر إلى الملحق C1 الذي يحتوي على مثال عن مخطط تسليح أساس مستمر لجدار من الخرسانة.

(٣,٣) تصميم الأساسات الشريطية المعرضة لقوة محورية وعزم بالاتجاه العرضي
Design of Strip Footings with Normal Forces & Lateral Moments

قد تتعرض الأساسات الشريطية إلى قوة محورية مع عزم باتجاه بعدها الأصغر (عرضها)، (انظر الشكل رقم ٣,٣) وذلك في حال تعرضها لضغط التربة أو الماء أو الرياح، مثل جدران الأقبية Basement walls، خزانات المياه، الأسوار، وقد يكون العزم ناتجا عن قوى محورية غير متمركزة مع مركز ثقل الأساس، مثل حالة أساسات جدار مجاور لملكية الغير. يجب التأكد من كون الإجهاد على التربة في حالة ضغط عبر كامل عرض الأساس الشريطي، وهذه هي الحالة المفضلة. أما في حالة كون جزء من الأساس معرضًا للشد، وعلى اعتبار أن التربة لا تتحمل إجهاد شد فستتعرض المنطقة

المشدودة إلى فصل بين التربة والأساس، يجب في هذه الحالة حذف الجزء المشدود واعتبار الجزء المضغوط فقط في حساب الإجهاد وتصميم الأساس. ويمكن أيضا تطبيق طريقة مستطيل الضغط المكافئ أو طريقة العناصر المحدودة، (انظر الفقرة ٢,٥).



الشكل رقم (٣,٣). أساس شريطي معرض لقوة محورية وعزم بالاتجاه العرضي: (a) مسقط لجدار مع أساسه، (b) المقطع A-A، (c) مخطط توزيع الإجهادات.

إجهاد ضغط على التربة على كامل عرض الأساس $e<B/6$

$$e = \frac{M}{P} \tag{3.10}$$

$$q1 = q_{max} = \frac{P}{B}(1 + \frac{6e}{B}) \qquad (3.11)$$

$$q2 = q_{min} = \frac{P}{B}\left(1 - \frac{6e}{B}\right) \qquad (3.12)$$

إجهاد ضغط وشد على التربة e>B/6 .

$$q_{max} = \frac{4P}{3(B - 2e)} \qquad (3.13)$$

حيث إن :

P القوة المحورية الكلية ، M العزم المؤثر على القاعدة من العمود ، e اللامركزية.

إجراء تصميم الأساس الشريطي المعرض لقوة وعزم انحناء (إجهاد ضغط كامل)

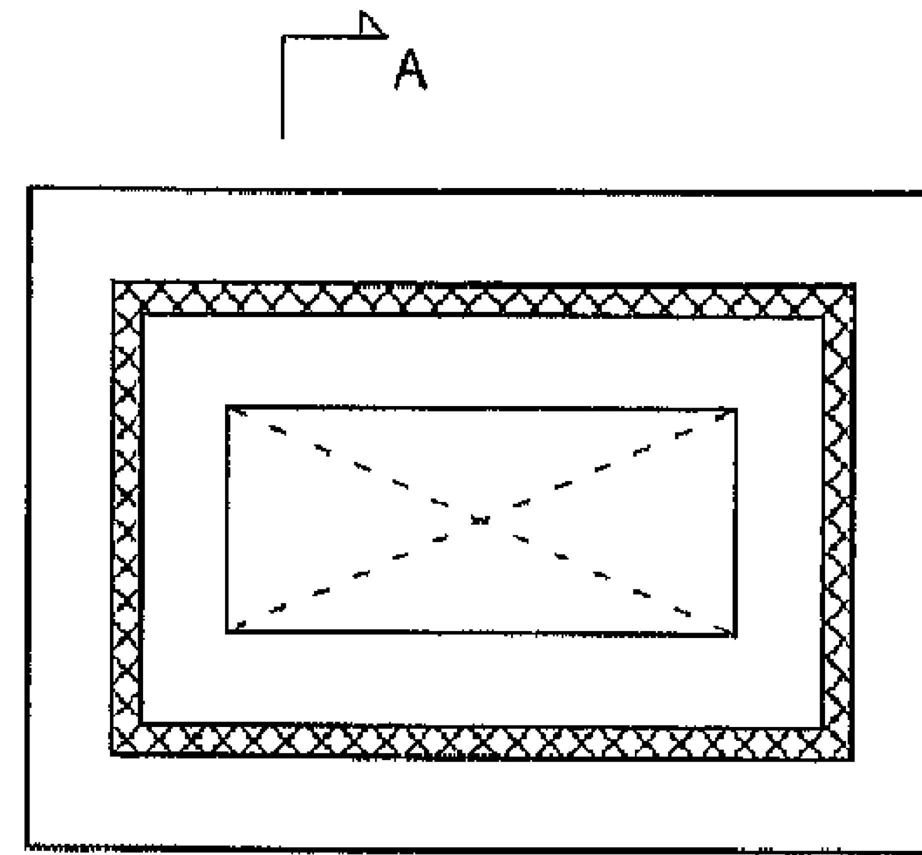
١- حساب عرض الأساس: يتم حساب عرض الأساس ليحقق عدم تجاوز إجهاد ضغط التربة وفق العلاقات (١٠-١٣).

٢- التأكد من أن ارتفاع القاعدة كاف لمقاومة القص: يتم تحقيق القص (أحادي الاتجاه) عند المقطع الحرج على بعد d من وجه الجدار باعتبار مخطط إجهاد التربة الناتج عن القوة المحورية والعزم أي باعتبار شبه منحرف رد فعل التربة المحدد بالقيمتين q1, q3، (انظر الشكل رقم ٣,٣ c).

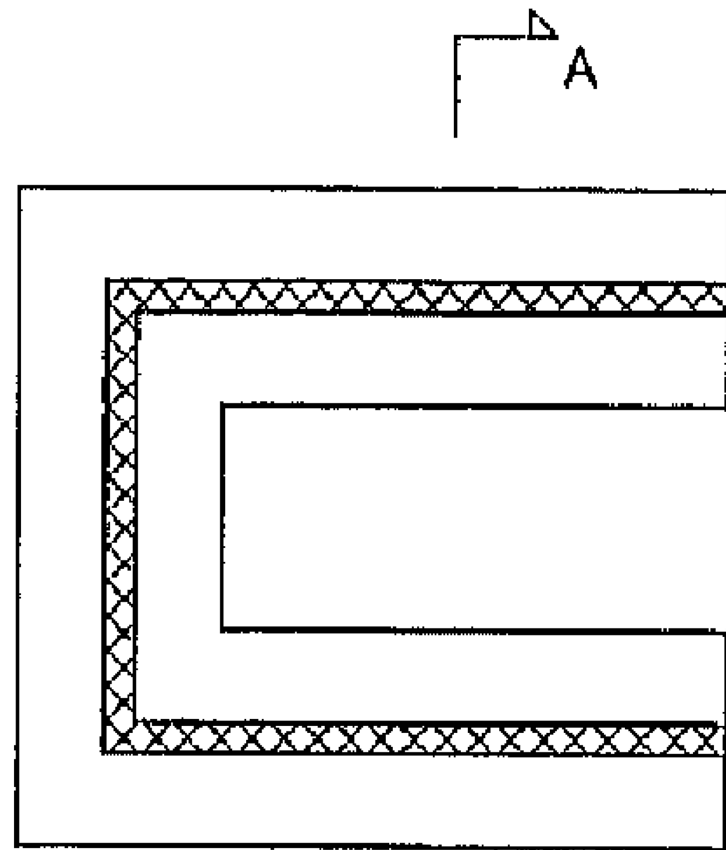
٣- حساب التسليح اللازم لمقاومة عزم الانحناء: يتم ذلك عند المقطع الحرج كما هو معرف في الفقرة ٣ من المقطع (٣,٢) وذلك باعتبار المخطط الكلي لضغط التربة (قوة محورية + عزم) أي باعتبار شبه منحرف رد فعل التربة المحدد بالقيمتين q1, q4 وذلك بالاتجاه القصير للأساس ويوضع تسليح إنشائي (نسبة دنيا) بالاتجاه الطولي للأساس.

(٣,٤) الأساسات الشريطية لجدران بيت الدرج ونواة المصعد
Strip Footings for Stair Cases & Elevator Cores

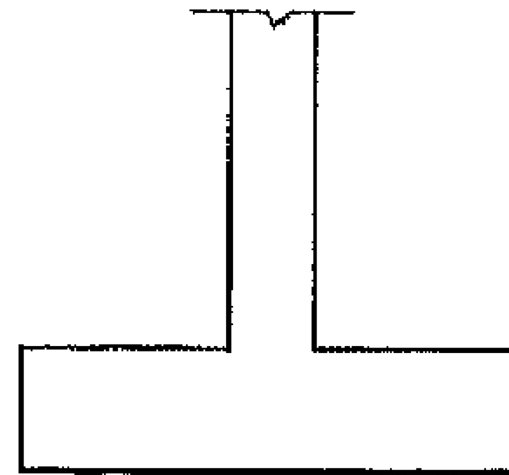
يمكن أن تستخدم الأساسات الشريطية لجدران بيت الدرج ونواة المصعد حيث يكون شكلها في هذه الحالة بشكل U أو بشكل صندوقي، (انظر الشكل رقم ٣,٤)، ويتم تصميمها في هذه الحالة كما ورد في الفقرة (٣,٢). أما في حال كون الأساسات مصمتة بشكل كامل (لا تحوي فراغا بالداخل) فتصمم على أنها حصيرة، انظر الفصل الخامس. في حال تعرض الجدران لقوى جانبية (رياح، زلازل) فستعمل كجدران قصية، وفي هذه الحالة يجب أن يصمم الأساس لمقاومة القوى المحورية والعزوم على الجدران القصية التي تكون بالاتجاه الطولي (باتجاه بعدها الأكبر) وفي حال كون شكل الأساس غير منتظم يتم تطبيق الطريقة العامة لمعرفة الإجهادات في نقاط الأساس، (انظر الفقرة ٣,٦) علما أنه يمكن استخدام نفس الإجراء للأساسات المنتظمة المعرضة للقوى الجانبية.



(b): Plan of box shape strip footing



(a): Plan of U shape strip footing

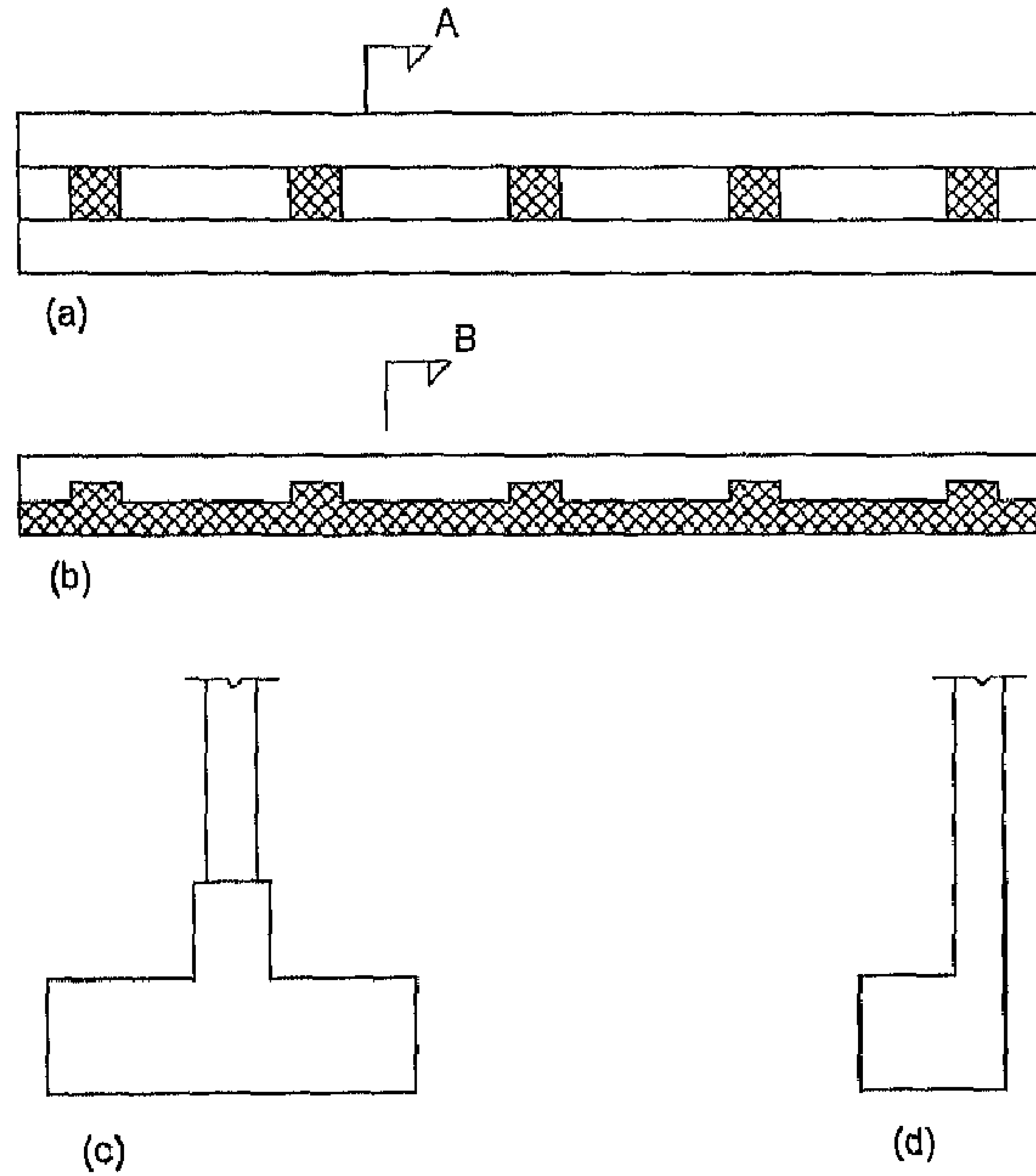


(c): Section A-A

الشكل رقم (٣,٤). أساس شريطي لنموذجي بيت درج: (a) مسقط لأساس شريطي على شكل U، (b) مسقط لأساس شريطي صندوقي، (c) مقطع A-A.

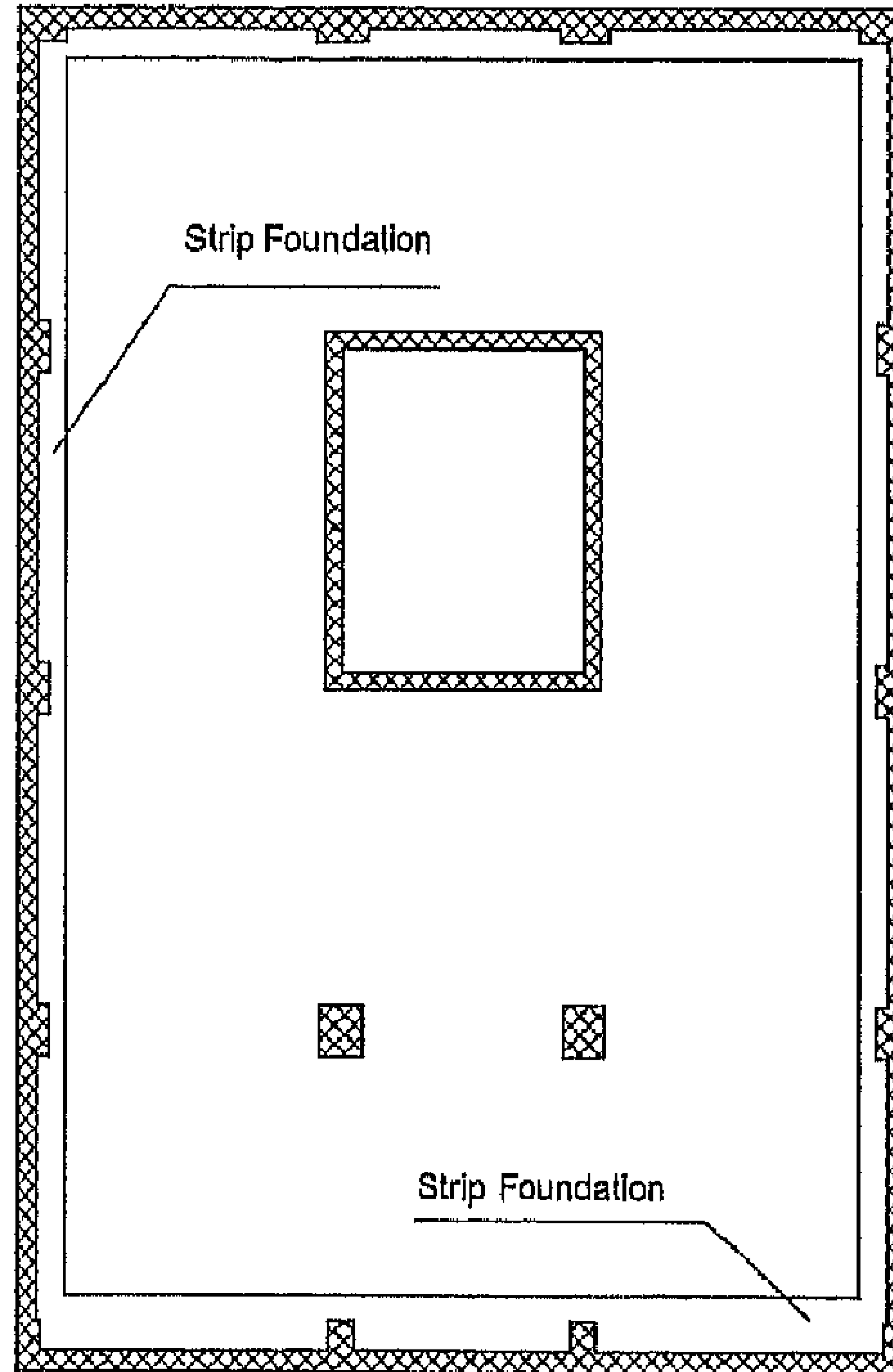
(٣,٥) تصميم الأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة
Design of Strip Footings Under Row of Columns

يمكن استخدام الأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة، وذلك في حالة تقارب المسافة بين الأعمدة وعلى اعتبار أن حل قواعد منفصلة يمكن أن يؤدي إلى تداخل القواعد، (انظر الشكل رقم ٣,٥ a)، يمكن أيضًا استخدام هذا النوع من الأساسات كأساس لأعمدة واجهة بناء حيث يفضل أن يكون الأساس مستمرًا ولا يفضل حل قواعد منفصلة لعدم السماح ببروزها خارج ملكية العقار وتجاوزها على الشارع المقابل، (انظر الشكل رقم ٣,٥ b) ويستفاد من الأساس الشريطي في هذه الحالة لتحميل جدار القبو Basement wall. يتم إجراء التحليل الإنشائي للأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة باستخدام الطريقة الجاسئة، (انظر الفقرة ٣,٦,١) أو باستخدام العناصر المحدودة، (انظر الفقرة ٣,٦,٢).



الشكل رقم (٣,٥). أساس شريطي تحت صف أعمدة: (a) مسقط لأساس شريطي تحت صف أعمدة، (b) مسقط أساس واجهة بناء، (c) المقطع A-A شكل T مقلوبة، (d) المقطع B-B مستطيل.

في حالة الأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة باتجاهين، (انظر الشكل رقم ٣,٦) فيمكن إجراء تحليلها الإنشائي باعتبار إحدى الطريقتين السابقتين في حالة معاملة كل من الأساسات الشريطية باتجاه معين (الأفقي مثلاً) بشكل مستقل عن الاتجاه الآخر (العمودي). يمكن أيضًا التحليل الإنشائي للأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة باتجاهين باستخدام طريقة العناصر المحدودة باعتبار الاتجاهين معًا في آن واحد، وذلك على اعتبار أن نظام الأساس مع جدران القبو وسقف القبو يشكل صندوقًا من الخرسانة عالي الجساءة. تجدر الإشارة إلى أن تصميم الأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة باعتبار الاتجاهين معا أكثر توفيرًا من الناحية الاقتصادية، وأكثر كفاءة لمقاومة العزوم الناتجة عن القوى الجانبية، مثل الزلازل. أخيرًا يكون مقطع الأساس الشريطي تحت صفوف الأعمدة إما على شكل T مقلوبة أو على شكل مستطيل.



الشكل رقم (٣,٦). مسقط لأساس شريطي تحت صفوف الأعمدة باتجاهين.

حالة مقطع T مقلوبة

أي الأساس عبارة عن بلاطة بارتفاع معين ويربط بين الأعمدة جسر مقلوب بارتفاع كاف ؛ ليكسب الأساس جساءة عالية ، (انظر الشكل رقم ٣,٥ c)، يتم تحقيق البلاطة على القص أحادي الاتجاه ، ويتم حساب التسليح الطولي والعرضي حسب عزم الانحناء بالاتجاهين ، ويتم تسليح الجسر المقلوب على القص والانحناء كأنه كمرة عادية ، (انظر المثال ٣,٥). انظر أيضا إلى الملحقين C2 الذي يظهر مخطط التسليح لأساسي شريطي تحت صفوف الأعمدة بمقطع T مقلوبة.

حالة مقطع مستطيل

يفضل أن يكون الأساس بأقل عرض ممكن لتجنب قيم عالية للامركزية بالاتجاه المعامد لمحور الأساس وبارتفاع كاف ؛ ليكسب الأساس جساءة عالية. يتم تصميم الأساس على القص والانحناء كأنه كمرة عادية ، (انظر المثال ٣,٦)، انظر أيضًا إلى الملحق C3 الذي يظهر مخطط التسليح لأساس شريطي تحت صفوف الأعمدة بمقطع مستطيل.

(٣,٥,١) طرق التحليل الإنشائي للأساسات الشريطية تحت صفوف الأعمدة

Methods of Structural Analysis of Strip Footings Under Rows of Columns

الطريقة الجاسئة

يمكن أن تستخدم في حالة الأساسات الشريطية عالية الجساءة وتفترض هذه الطريقة توزيعًا منتظمًا أو خطيًا للإجهادات تحت الأساس ، (انظر الشكل رقم ٥,٣ a) في الفصل الخامس ويعتبر في هذه الطريقة أن هبوط الأساس تحت الأحمال قليل جدا. يتم حساب قوى القص والعزوم من التحليل الستاتيكي على اعتبار أن الأساس جسم صلب مقرر. يشترط لاستخدام الطريقة الجاسئة تحقيق ما يلي :

١- المسافات بين الأعمدة منتظمة ، لا تزيد فرق المسافة بين كل عمودين عن ٢٠٪.

٢- أحمال الأعمدة متقاربة : لا يزيد فرق الأحمال بين الأعمدة عن ٢٠٪.

٣- الأساس جاسئ Rigid ويمكن التأكد من ذلك بتحقيق الشرط التالي :

$$D < \frac{1.75}{\beta} \tag{3.14}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{BK_s}{4E\ I_F}} \tag{3.15}$$

$$I_F = Bh^3/12 \tag{3.16}$$

حيث إن:

D المسافة بين الأعمدة، B عرض الأساس أو الجسر المقلوب.

K_s معامل رد فعل التربة، E معامل مرونة مادة الأساس.

h سماكة الأساس أو ارتفاع الجسر المقلوب.

طريقة العناصر المحدودة

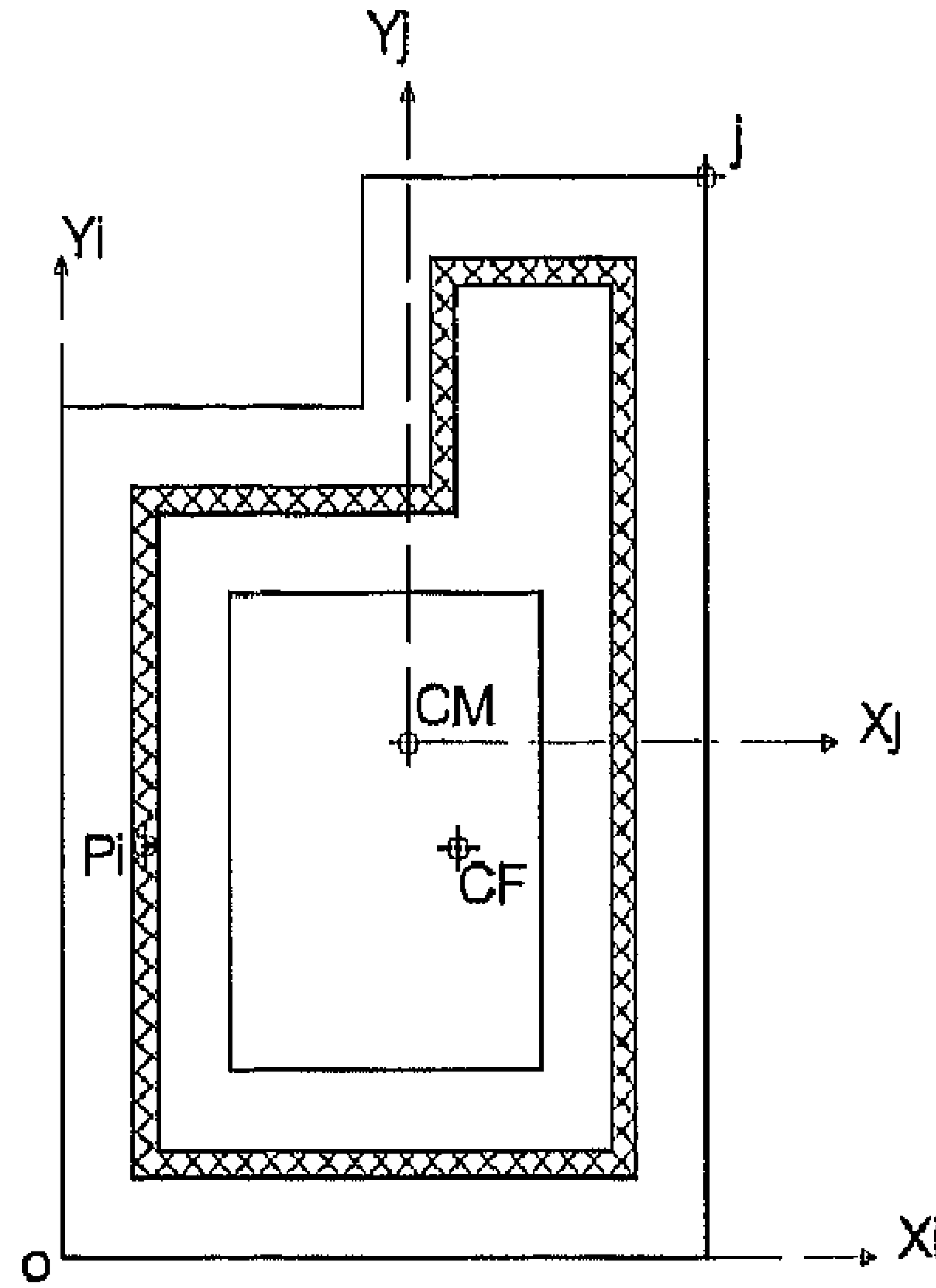
تفترض هذه الطريقة أن المنشأ متداخل مع التربة Interacting with soil حيث يفترض في هذه الطريقة أن الأساس مستند على مساند مرنة Beam on Sub-grade reactions وبالتالي يكون توزيع الإجهاد غير خطي وتختلف الهبوطات من موقع إلى آخر (يزداد الهبوط تحت الأعمدة)، (انظر الشكل رقم ٥,٣ b) في الفصل الخامس. تمتاز هذه الطريقة بكونها تعطي قيما أقل للعزوم بشكل عام، وبالتالي أكثر اقتصادية كما أنها أسهل للتطبيق في حالة اعتبار القوى الجانبية Lateral forces وذلك لتوفر العديد من البرامج التي يمكن استخدامها والتي تعتمد على تمثيل التربة باستخدام نوابض. في حالة المقطع T مقلوب لأساس شريطي باتجاه واحد، (الشكل رقم ٣,٥ a وc) يمكن اعتماد نموذج ثنائي الأبعاد وذلك بتمثيل البلاطة باستخدام عناصر صفائحية Shell elements والجسر باستخدام عناصر إطارية Frame elements، (انظر المثال ٣,٥) وفي حالة المقطع المستطيل لأساس شريطي باتجاه واحد، (انظر الشكل رقم ٣,٥ b وd) يمكن اعتماد نموذج أحادي البعد بتمثيل الأساس باستخدام عناصر إطارية أو نموذج ثنائي البعد،

(انظر المثال ٣,٦) وفي حال اعتبار أساس شريطي باتجاهين، (انظر الشكل رقم ٣,٦) يفضل اعتماد نموذج ثنائي البعد بتمثيل الأساس باستخدام عناصر صفائحية، (انظر المثال ٣,٧).

يتم عادة تمثيل التربة في نموذج أساس شريطي تحت صف أعمدة بنوابض ذات صلابات متماثلة تحت كل عقدة من عقد عناصر النموذج، بنتيجة هذا التمثيل سينشأ هبوط متماثل Constant settlement للأساس على الغالب، وهذا يتنافى مع السلوك الحقيقي للهبوط المقعر في حالة الأحمال الرأسية (قيمة أكبر في الوسط وقيم أقل على الأطراف). يمكن تحسين سلوك النموذج بتقسيم الأساس إلى قطاعات ذات صلابات بقيم مختلفة تتزايد من قيمة K_s نفسها في القطاع الخارجي إلى قيم أقل في القطاع الداخلي والمركزي أو بمضاعفة صلابة النوابض الطرفية، (انظر الفقرة ٥,٥). تجدر الإشارة إلى أن المرجع (Bowles, 2003) يوصي بطريقة مضاعفة صلابة النوابض الطرفية في حالة أساس شريطي تحت صف أعمدة، (انظر المثال ٣,٥).

(٣,٦) الأساسات الشريطية غير المنتظمة
Irregular Strip Footings

يلجأ المهندس أحيانًا لتصميم أساس مشترك لعمودين أو أكثر أو لمجموعة من الجدران المسلحة العادية أو القصية أو لعدد من الأعمدة و الجدران المسلحة. يكون شكل هذا الأساس أحيانًا غير منتظم Irregular و قد يحتاج إلى حسابات مطولة لتقرير الإجهادات المؤثرة في رؤوس التقاء أضلاع الأساس. تستند هذه الحسابات إلى حساب خصائص كتلة الأساس، ومن ثم تطبيق العلاقة العامة لحساب الإجهاد تحت تأثير مجموع من القوى والعزوم. يبين الشكل رقم (٣,٧) أساسًا مشتركًا لمنطقة الدرج في مبنى، حيث تشكل مجموعة جدران الدرج نواة Stair Core تعمل على مقاومة الأحمال الجانبية بالإضافة إلى نقل قوى الجاذبية (قوى محورية).



الشكل رقم (٣,٧). أساس شريطي غير منتظم لنواة بيت الدرج.

إجراء حساب الإجهادات في رؤوس زوايا الأساس (يتم وفق كل حالة تركيب أحمال)

١- استنتاج مركز محصلة القوى الرأسية CF (مثل القوى المؤثرة من الجدران) تحسب عن طريق العلاقات التالية (يتم عادة اعتبار الأحمال القصوى)

$$X_{CF} = \frac{\sum P_i \times x_i}{\sum p_i} \quad (3.17)$$

$$Y_{CF} = \frac{\sum P_i \times y_i}{\sum p_i} \quad (3.18)$$

$$e_x = x_{CF} - x_{CM} \quad (3.19)$$

$$e_y = y_{CF} - y_{CM} \quad (3.20)$$

حيث إن :

x_i, y_i هما إحداثيات مراكز ثقل القوى (الجدران) بالنسبة لنقطة اعتبارية مثل النقطة o.

P_i القوى الرأسية المؤثرة على الأساس.

x_{CM}, y_{CM} هما إحداثيات مركز كتلة الأساس.

x_{CF}, y_{CF} هما إحداثيات مركز محصلة القوى الرأسية.

e_x, e_y اللامركزية بالاتجاهين x, y.

تجدر الإشارة إلى أنه يتم تحديد مركز كتلة الأساس عن طريق أخذ العزوم الستاتيكية للمساحات المشكلة للأساس بالنسبة لنقطة اعتبارية مثل o أو عن طريق برنامج الـ AutoCAD ، انظر الملحق A2.

٢- حساب العزوم الستاتيكية Statical moments للقوى الرأسية وفق العلاقتين

$$Mx_S = \sum (p_i) \times e_y \qquad (3.21)$$

$$My_S = \sum (p_i) \times e_x \qquad (3.22)$$

حيث إن :

Mx_S مجموع العزوم الستاتيكية للقوى الرأسية حول المحور x

My_S مجموع عزوم الستاتيكية للقوى الرأسية حول المحور y

٣- يتم حساب الإجهاد لكل حالة تركيب الأحمال لنقطة مثل j ذات إحداثيات x_j, y_j مثل (رؤوس زوايا الأساس)، (انظر الشكل رقم ٣,٧) بحيث تؤخذ الإحداثيات بالنسبة لمركز الكتلة CM وفق العلاقة العامة التالية

$$q_j = \frac{P}{A} + x\frac{(MyI_x - MxI_{xy})}{I_x I_y - I_{xy}^2} + y\frac{(MxI_y - MyI_{xy})}{I_x I_y - I_{xy}^2} \qquad (3.23)$$

حيث إن :

I_x, I_y عزما القصور الذاتي Moment of inertia حول المحورين x, y على التوالي.

I_{xy} جداء القصور الذاتي Product of inertia (عزم المساحة حول المحورين x, y).

بالتعويض في العلاقة (23) بالحدود المناسبة حسب مصطلحات هذه الفقرة نحصل على العلاقة (3.24)، (انظر الجدول رقم ١ ,٣).

$$q_j = \frac{\sum p_i}{A} + x_j \frac{(My_{total} I_x - Mx_{total} I_{xy})}{(I_x I_y - I_{xy}^2)} + y_j \frac{(Mx_{total} I_y - Myt_{otal} I_{xy})}{(I_x I_y - I_{xy}^2)} \quad (3.24)$$

الجدول رقم (١ ,٣). حساب Mx_{total}, My_{total} وفق حالات تراكيب الأحمال القصوى الخمسة.

Case No	Description	Mx_{total}	My_{total}
Comb1	قوى رأسية فقط	Mx_S	My_S
Comb2	قوى رأسية + قوى جانبية بالاتجاه +x	Mx_S	$My_S + My_L$
Comb3	قوى رأسية + قوى جانبية بالاتجاه -x	Mx_S	$My_S - My_L$
Comb4	قوى رأسية + قوى جانبية بالاتجاه +y	$Mx_S + Mx_L$	My_S
Comb5	قوى رأسية + قوى جانبية بالاتجاه -y	$Mx_S - Mx_L$	My_S

حيث في الجدول رقم (١ ,٣) :

Mx_L مجموع العزوم الناتجة عن القوى الجانبية بالاتجاه y (تسمى Mx_E في حالة قوى الزلازل).

My_L مجموع العزوم الناتجة عن القوى الجانبية بالاتجاه x (تسمى My_E في حالة قوى الزلازل).

٤- تتم مقارنة الإجهاد الحدي المحسوب مع تحمل التربة Bearing Capacity مضروب بمعامل مناسب مثلا "f1=1.3" في حالة التركيب الأول (Comb1) الذي يشمل تركيب

الأحمال الميتة والحية ، أما في باقي الحالات (Comb2-5) التي تشمل تراكيب القوى الميتة والحية والزلازل القصوى فيتم مقارنة الإجهاد المحسوب مع قيمة تحمل التربة مضروبة بمعامل زيادة تحمل التربة من أجل الأحمال الانتقالية Transitional loading والذي يعطى عادة مع تقرير التربة (مثلا f3=1.33) مع أخذ قيمة إضافية تقديرية لكون الأحمال حدية (المعامل f2=1.1)، انظر الملحق B1.

٥- يتم تصميم الأساس كما ورد في الفقرة (٣,٢) بخصوص مقاومة القص وعزم الانحناء، (انظر المثال ٣,٤).

ملاحظة

في حال كون الأساس منتظما (أي متناظرا بالنسبة حول أحد المحورين x, y أو كليهما) فيمكن استخدام نفس الإجراء السابق مع ملاحظة : ($I_{xy} = 0$).

(٣,٧) أمثلة تطبيقية

Application Examples

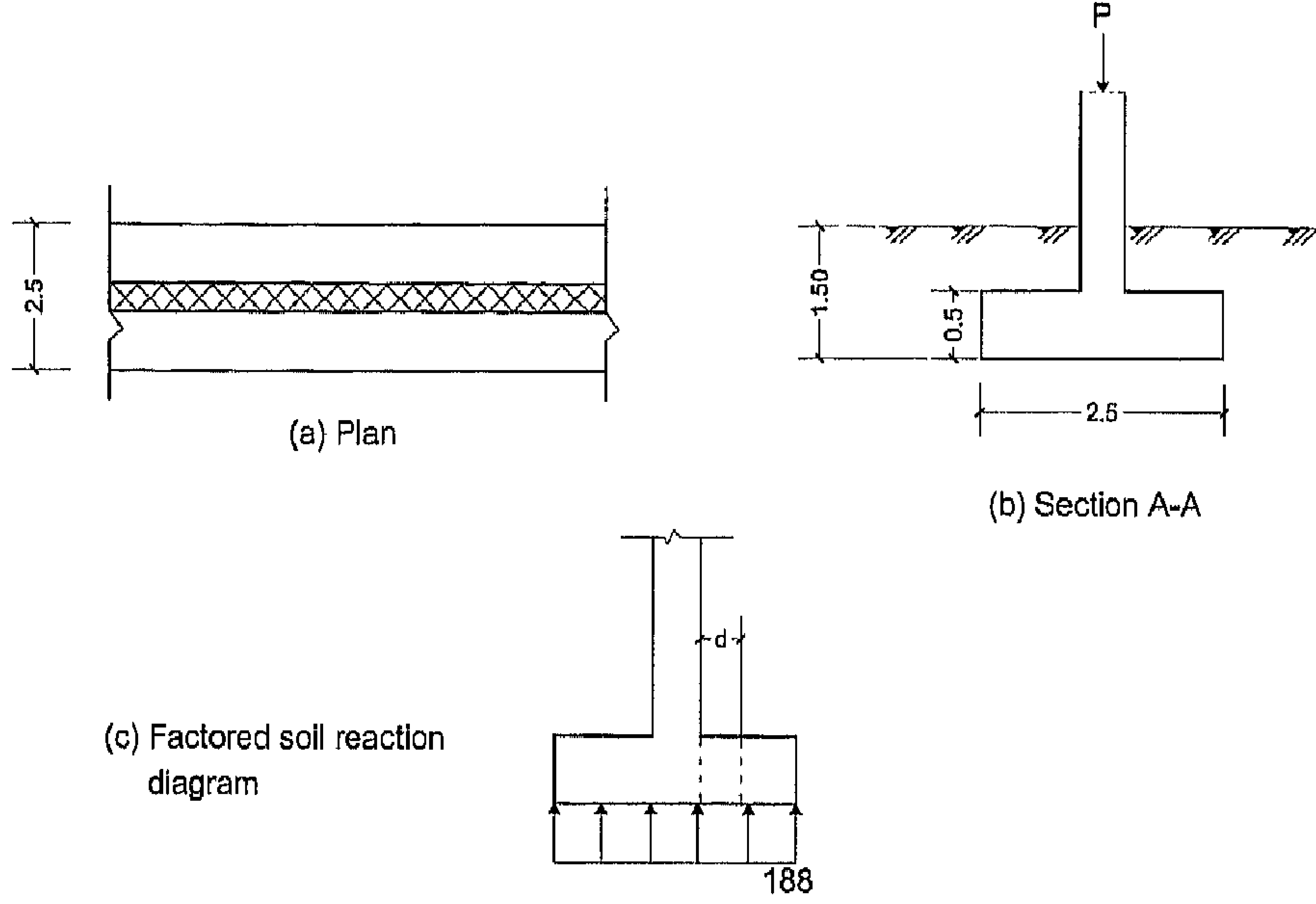
المثال (٣,١): أساس شريطي معرض إلى قوى محورية

Strip Footing Subject to Normal Force

يطلب تصميم أساس مستمر لجدار من الخرسانة المسلحة بعمق 1.5 m ، (انظر الشكل رقم ٣,٨) علماً أن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وأن اجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa وأن تحمل التربة q_a = 180 KPa وأن الجدار معرض إلى الأحمال المبينة في الجدول رقم (٣,٢).

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي معرض إلى قوة محورية فقط بشكل تفصيلي ، مخطط التسليح.



الشكل رقم (٣,٨). أساس شريطي معرض لقوة محورية (a) مسقط الأساس، (b) المقطع A-A، (c) مخطط يظهر مقطعي القص والعزم التصميمين.

الجدول رقم (٣,٢). الأحمال المطبقة على الأساس.

	أحمال تشغيلية	أحمال قصوى
P_D (KN/m)	280	280×1.2=336
P_L (KN/m)	83	83×1.6=133

١- حساب عرض الأساس

نفترض أن وزن وحدة الحجوم لخرسانة الأساس مع التربة فوقه بقيمة وسطية γ_{av} :

$$\gamma_{av}=22\ KN/m^3$$

$$q_{an} = q_a - \gamma_{av}.D_f = 180 - 22\times1.5 = 147 \text{ KN/m}^2$$

$$B = (P_D+P_L)/q_{an} = (280+83)/147 = 2.47 \text{ m}$$

نعتبر أن عرض الأساس B = 2.5 m

٢- تحقيق القص أحادي البعد

بافتراض أن ارتفاع الأساس h = 50 cm وأن ارتفاعه الفعال d = 44 cm وعلى اعتبار شريحة من الأساس بطول 1m

$$C = (2.5-0.25) / 2 = 1.125 \text{ m}$$

$$q_u = \frac{330 + 138}{(2.5\times1)} = 188 \text{ KN/m}^2$$

$$V_u = q_u \text{ (c-d)}$$

$$V_u = 188 \times (1.125-0.44) = 149 \text{ KN}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} 1.0d$$

$$V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(1.0\times0.36)\times1000 = 329 \text{ KN}$$

$$V_u = 129 < 0.75\times329 = 247 \text{ KN (Ok.)}$$

٣- حساب التسليح الرئيس

$$M_u = q_u \times C^2 / 2$$

$$M_u = 188\times1.125^2 / 2 = 119 \text{ KN.m/m}$$

$$\rho = \rho_{min} = 0.0018$$

$$A_s = \rho\times b\times d = 0.0018\times100\times44 = 7.92 \text{ cm}^2$$

$A_s = \phi\, 14@150$ mm (تسليح رئيس سفلي)

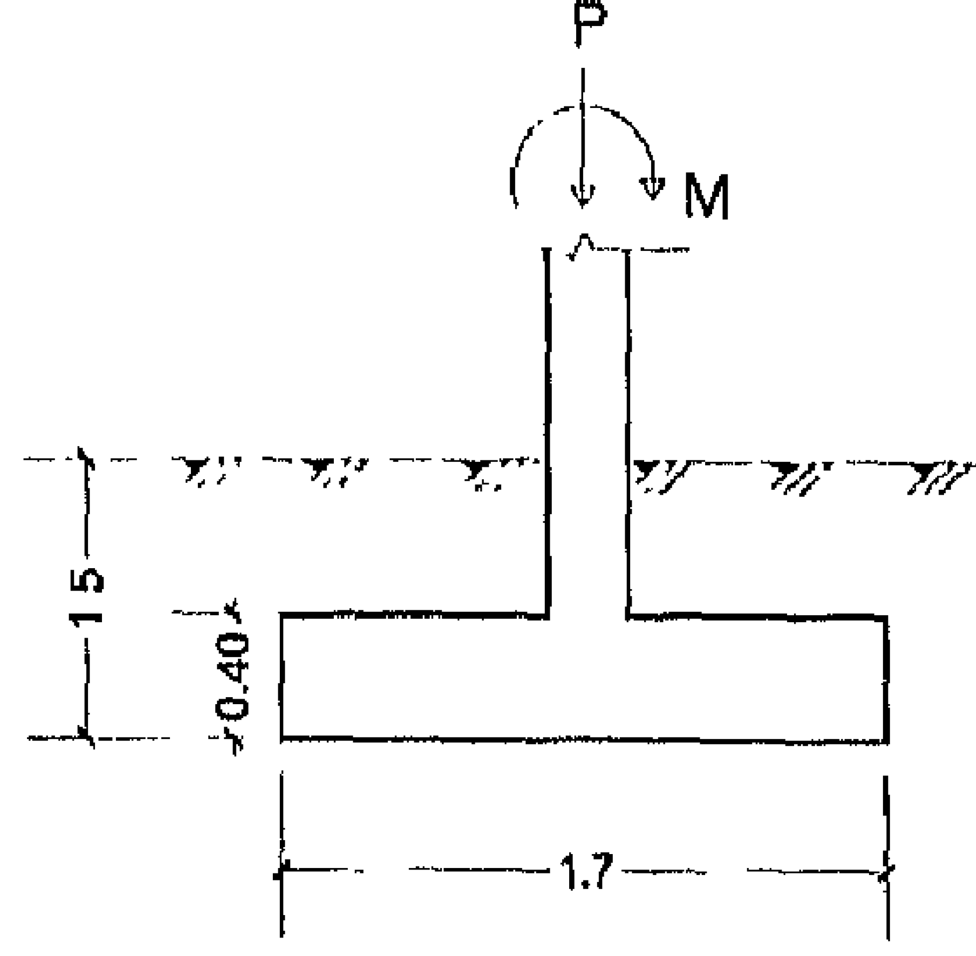
٤- مخطط التسليح : انظر الملحق CI.

المثال (٣,٢): أساس شريطي لجدار قبو Strip Footing for Basement Wall

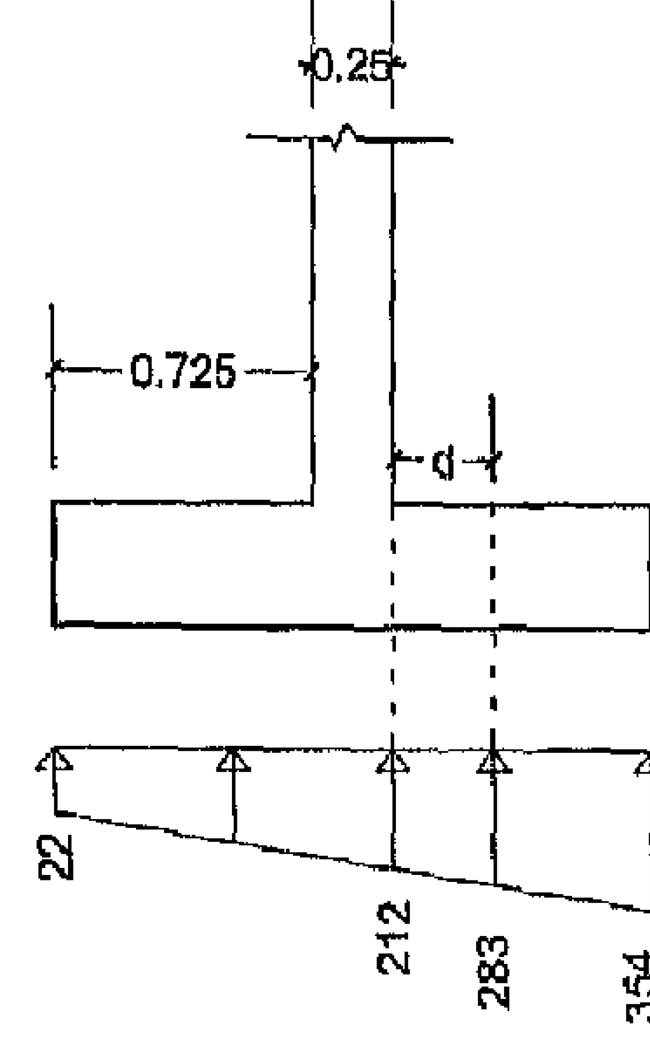
يطلب تصميم أساس شريطي لجدار قبو Basement من الخرسانة المسلحة (انظر الشكل رقم ٣,٩) معرض لأحمال موضحة في الجدول رقم (٣,٣) مكونة من أحمال رأسية (D, L) وعزم ناتج عن ضغط التربة الجانبي (H) مع العلم أن المقاومة الإسطوانية المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 25$ MPa ، وإجهاد خضوع الحديد $f_y = 414$ MPa وأن تحمل التربة الصافي $q_{an} = 260$ KPa.

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي معرض لقوة محورية وعزم.



(a): wall footing section



(b): Stress distribution

الشكل رقم (٣,٩). أساس شريطي لجدار قبو: (a) مسقط في أساس الجدار، (b) مخطط توزيع الإجهادات.

الجدول رقم (٣,٣). الأحمال المطبقة على الأساس.

	أحمال تشغيلية			أحمال قصوى		
	ميتة D	حية L	ضغط تربة H	D	L	H
P, KN/m	200	50	-	240	80	-
M, KN.m/m	-	-	50	-	-	80

١ – حساب أبعاد الأساس

بإهمال فرق وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم مبدئيًا

P=200+50 = 250 KN/m

$$e = \frac{M}{P} = \frac{50}{250} = 0.2\ m$$

$$q = (1 + \frac{6 \times 0.2}{B}) = 260\ KN/m^2$$

بحل هذه المعادلة من الدرجة الثانية نجد $B = 1.7\ m$.

٢- رسم مخطط الإجهاد الحدي، (انظر الشكل رقم ٣,٨ b)

$$P = 240 + 80 = 320\ KN$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{8}{(24+8)} = 0.25\ m < 1.7/6 = 0.28\ m$$

$$q_1 = \frac{320}{1.7}(1 + 6\frac{0.25}{1.7}) = 354\ KN/m^2$$

$$q_2 = \frac{320}{1.7}(1 - 6\frac{0.25}{1.7}) = 22\ KN/m^2$$

٣- تحقيق الأساس على القص أحادي البعد

نفترض أن ارتفاع الأساس $h = 0.4$ وبالتالي الارتفاع الفعال $d = 0.36$ وعلى اعتبار شريحة من الأساس بطول 1m:

$$C = (1.7 - 0.25)/2 = 0.725\ m$$

$$q_u = (354 + 283)/2 = 318.5\ KN/m^2$$

$$V_u = q_u \times (C - d),\ V_u = 318.5 \times (0.725 - 0.36) = 116\ KN$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} 1.0 d$$

$$V_c = \frac{\sqrt{25}}{6}(1.0 \times 0.36) \times 1000 = 300 \text{ KN}$$

$$V_u = 116 < 0.75 \times 300 = 255 \text{ KN (Ok.)}$$

٤- تحقيق عدم تجاوز تحمل التربة

فرق وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم باعتبار شريحة بطول 1m

$$W1 = 1.7 \times 0.4 \times (25-18) = 5 \text{ KN}$$

$$P_{total} = 250 + 5 = 255 \text{ KN}$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{50}{255} = 0.196 \text{ m} < 1.7 / 6 = 0.283 \text{ m}$$

$$q = \frac{255}{1.7}\left(1 + \frac{6 \times 0.196}{1.7}\right) = 254 < 260 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

٥- حساب التسليح الرئيس

$$M_u = 212 \times 0.725^2 / 2 + (354 - 212) \times 0.725^2 / 3 = 81 \text{ KN.m/m}$$

$$\rho = \rho_{min} = 0.0018$$

المثال (٣,٣): أساس شريطي منتظم لبئر درج (أحمال الجاذبية فقط)

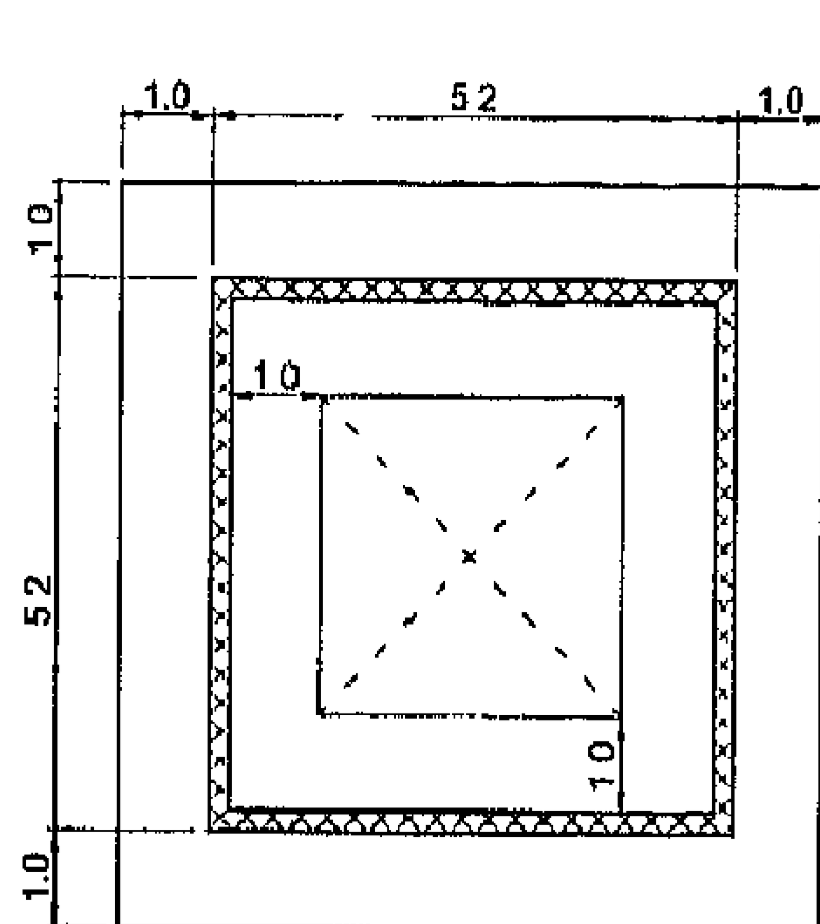
Regular Stair-case Strip Footing-Gravity Load

يطلب تصميم أساس شريطي صندوقي لبئر درج ، (انظر الشكل رقم ٣,١٠) علماً أن منسوب التأسيس على عمق 1.5 m وتحمل التربة الصافي $q_{an} = 140$ KPa وأن الأحمال

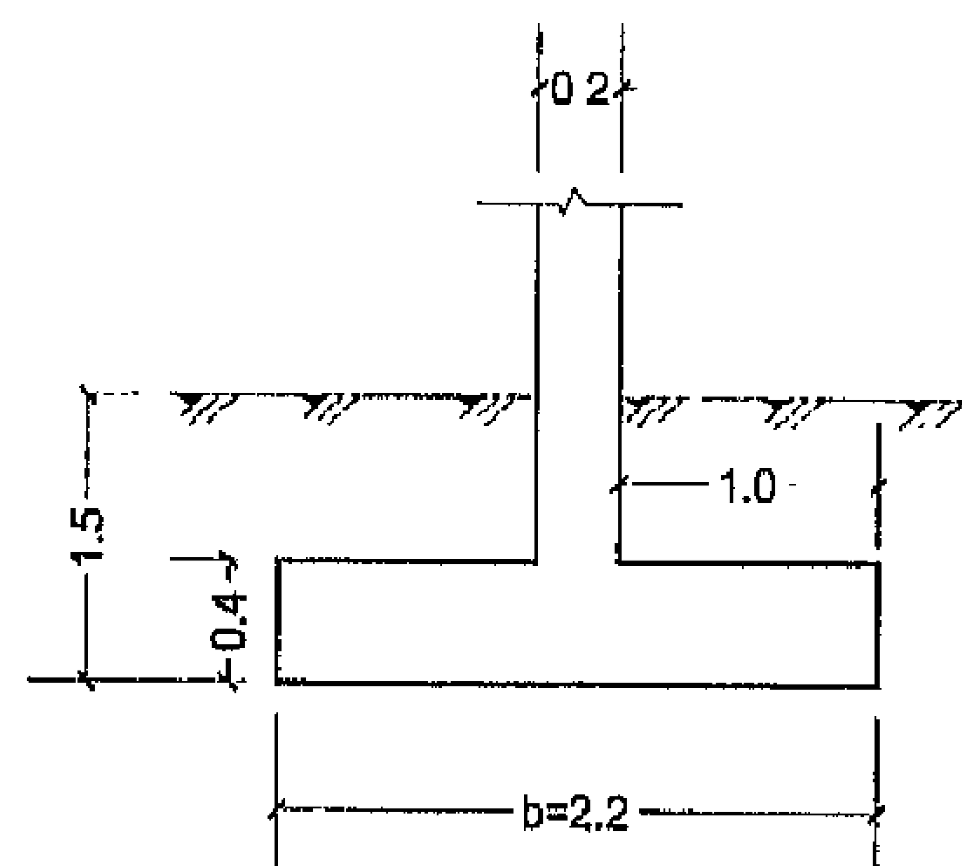
المنقولة من الجدار الميتة والحية (P_D=220 KN/m, P_L=80 KN/m) والمقاومة الإسطوانية المميزة للخرسانة على الضغط $f'c$ = 25 MPa وإجهاد خضوع الحديد f_y = 414 MPa.

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي صندوقي منتظم معرض لأحمال الجاذبية فقط.



(a): wall footing Plan



(b): Section A-A

الشكل رقم (٣,١٠). أساس شريطي منتظم لبئر درج: (a) مسقط في أساس الجدار، (b) مخطط توزيع الإجهادات.

١ – تحديد أبعاد الأساس

بإهمال فرق وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم مبدئيًا، وباعتبار شريحة من الأساس بطول 1m

$$P=220+80=300 \text{ KN}$$

$$b=P/q_{an}$$

$$b = 300/140 = 2.14\ m$$

نفترض أن b=2.2 m، ارتفاع الأساس h = 40 cm والارتفاع الفعال d=36 cm

فرق وزن خرسانة الأساس عن التربة

$$W=2.2\times(25-18)\times0.4=6\ KN$$

$$P_{total}=300+6=306\ KN$$

$$q=\frac{306}{2.2}=139<140\ KN/m^2\ (OK.)$$

٢- التحقيق على القص أحادي الاتجاه

$$q_u=(1.2\times220+1.6\times80)/2.2=178\ KN/m^2$$

$$V_u=q_u\times(C-d)$$

$$V_u=178\times(1-0.36)=114\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}1.0d$$

$$V_c=\frac{\sqrt{25}}{6}(1.0\times0.36)\times1000=300\ KN$$

$$V_u=114<0.75\times300=225\ KN\ (Ok.)$$

٣- حساب التسليح

$$M_u=178\times1.0^2/2=89\ KN.m/m$$

$$\rho = 0.0019$$

المثال (٣,٤): أساس شريطي لبئر درج غير منتظم Irregular Stair-case Strip Footing

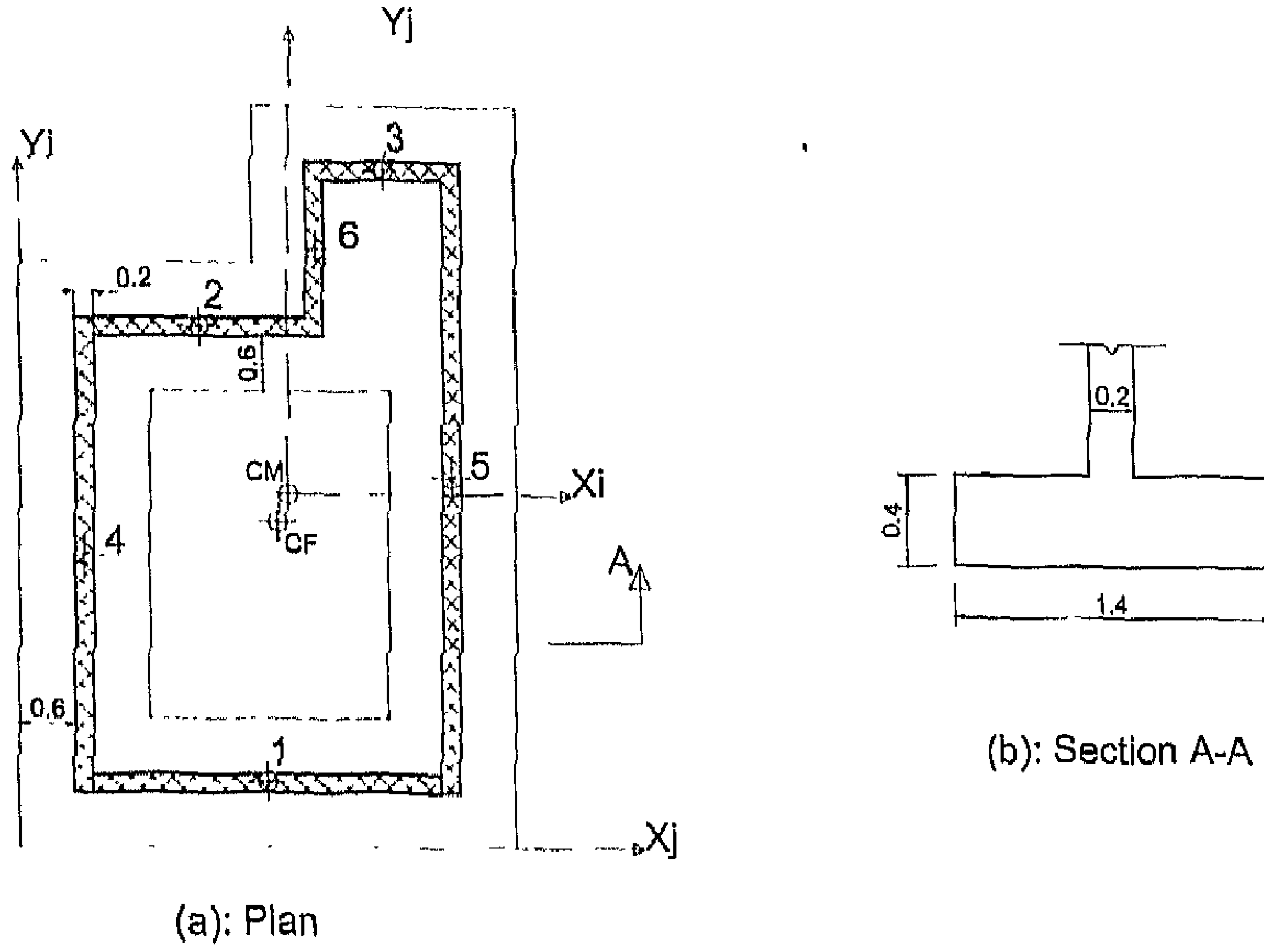
يبين الشكل رقم (٣,١١) أساسًا شريطيًا مشتركًا لمنطقة الدرج في مبنى، حيث تشكل مجموعة الجدران القصية Shear walls نواة Stair Core تعمل على مقاومة قوى الجاذبية (حية + ميتة) والأحمال الجانبية الناتجة عن الزلازل بالاتجاهين، يظهر الجدول رقم (٣,٤) قائمة بهذه الأحمال القصوى، المطلوب تصميم الأساس. مع العلم أن تحمل التربة q_{an} = 400 KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 25 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa وأنه يمكن استخدام المعامل f1=1.3 والمعامل f2=1.1 والمعامل f3=1.33، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي صندوقي غير منتظم (جدران قصية: قوى رأسية وعزوم زلازل).

الجدول رقم (٣,٤). القوى القصوى المؤثرة على الأساس المشترك (الوحدات KN, m).

Wall No	Comb1 1.2D +1.6 L	Comb2 1.2D+1.0L +1.0Ex		Comb3 1.2D+1.0L -1.0Ex		Comb4 1.2D+1.0L +1.0Ey		Comb5 1.2D+1.0L -1.0Ey	
	P	P	My	P	My	P	Mx	P	Mx
1	3400	3200	2000	3200	-2000	3200	0	3200	0
2	1800	1600	800	1600	800-	1600	0	1600	0
3	750	700	350	700	350-	700	0	700	0
4	2500	2450	0	2450	0	2450	2000	2450	2000-
5	3200	3000	0	3000	0	3000	2200	3000	2200-
6	900	800	0	800	0	800	400	800	400-
Σ	12550	11750	3150	11750	3150-	11750	4600	11750	4600-



الشكل رقم (٣,١١). أساس شريطي لبئر درج غير منتظم: (a) مسقط أساس مشترك لنواة بيت الدرج، (b) المقطع A-A.

١ – استنتاج مركز محصلة القوى الرأسية CF واللامركزية (الحالات Comb2-Comb5)

يتم إعداد جدول القوى على صفيحة Excel، وذلك لتسهيل الحسابات، (انظر الجدول رقم ٣,٥)، كما تجدر الإشارة إلى أنه يمكن استخدام برنامج الـ AutoCAD لاستخراج إحداثيات مركز الكتلة والخواص الهندسية الأخرى للأساس، (انظر الملحق A2).

$$X_{CF} = \frac{\sum P_i \times x_i}{\sum p_i}, \; Y_{CF} = \frac{\sum P_i \times y_i}{\sum p_i}$$

$x_{CF} = 32900 / 11750 = 2.8$ m, $y_{CF} = 41518.8 / 11750 = 3.53$ m

$e_x = x_{CF} - x_{CM} = 2.8 - 2.9 = -0.1$ m, $e_y = y_{CF} - y_{CM} = 3.53 - 3.83 = -0.3$ m

٢- حساب العزوم الستاتيكية للقوى الرأسية

$$Mx_S = \sum(p_i)\times e_y \quad , \quad My_S = \sum(p_i)\times e_x$$

Mx_S= 11750 ×(-0.3)=-3525 KN.m, My_S = 11750 ×(-0.1)=-1175 KN.m

الجدول رقم (٣,٥). حساب مركز محصلة القوى الرأسية CF.

Wall No	P_i (KN)	x_i (m)	y_i (m)	$P_i \times x_i$ (KN.m)	$P_i \times y_i$ (KN.m)
W1	3200	2.7	0.7125	8640	2280
W2	1600	1.95	5.65	3120	9040
W3	700	3.95	7.35	2765	5145
W4	2450	0.7	3.175	1715	7778.75
W5	3000	4.7	4.025	14100	12075
W6	800	3.2	6.5	2560	5200
Σ	11750			32900	41518.8

٣- الخواص الهندسية للأساس

يتم استنتاجها باستخدام التعليمات المتوفرة ببرنامج الرسم AutoCAD ، (انظر الملحق A2).

المساحة $A = 29.99\ m^2$

عزم القصور الذاتي حول x $I_x = 173.46\ m^4$

عزم القصور الذاتي حول y $I_y = 88.01\ m^4$

جداء القصور الذاتي $I_{xy} = 20.73\ m^4$

يفترض أن عمق الأساس h= 50 cm والارتفاع الفعال d=44 cm

W فرق وزن الأساس عن التربة

$$W = 29.99 \times 0.4\ (25-18) = 84\ KN$$

$$P_{total} = 11750 + 84 \times 1.2 = 11851\ KN$$

٤- حساب الإجهادات وفق التراكيب الخمسة

يتم حساب إجهاد الضغط على التربة وفق العلاقة (3.24) للحالات -Comb2 Comb5 وذلك للنقاط ذات الإحداثيات x_j, y_j أي النقاط (من ١ - ٩)، (انظر الشكل رقم ٣,١٢) بحيث تؤخذ الإحداثيات بالنسبة لمركز، (انظر الجدول رقم ٣,٦) الذي يوضح العزوم الكلية في الحالات الخمسة، يتم ترتيب النتائج في الجدول رقم (٣,٧). مثلا يمكن حساب إجهاد الضغط على التربة في النقطة "1" للحالة Comb2 وفق ما يلي:

$$q_2 = \frac{11851}{29.99} - 2.9\frac{(1975 \times 173.46) + (-3525 \times 20.73)}{(173.46 \times 88.01 - 20.73^2)}$$
$$-3.83\frac{(-3525 \times 88.01) + (1975 \times 20.73)}{(173.46 \times 88.01 - 20.73^2)} = 404.6 \quad KN/m^2$$

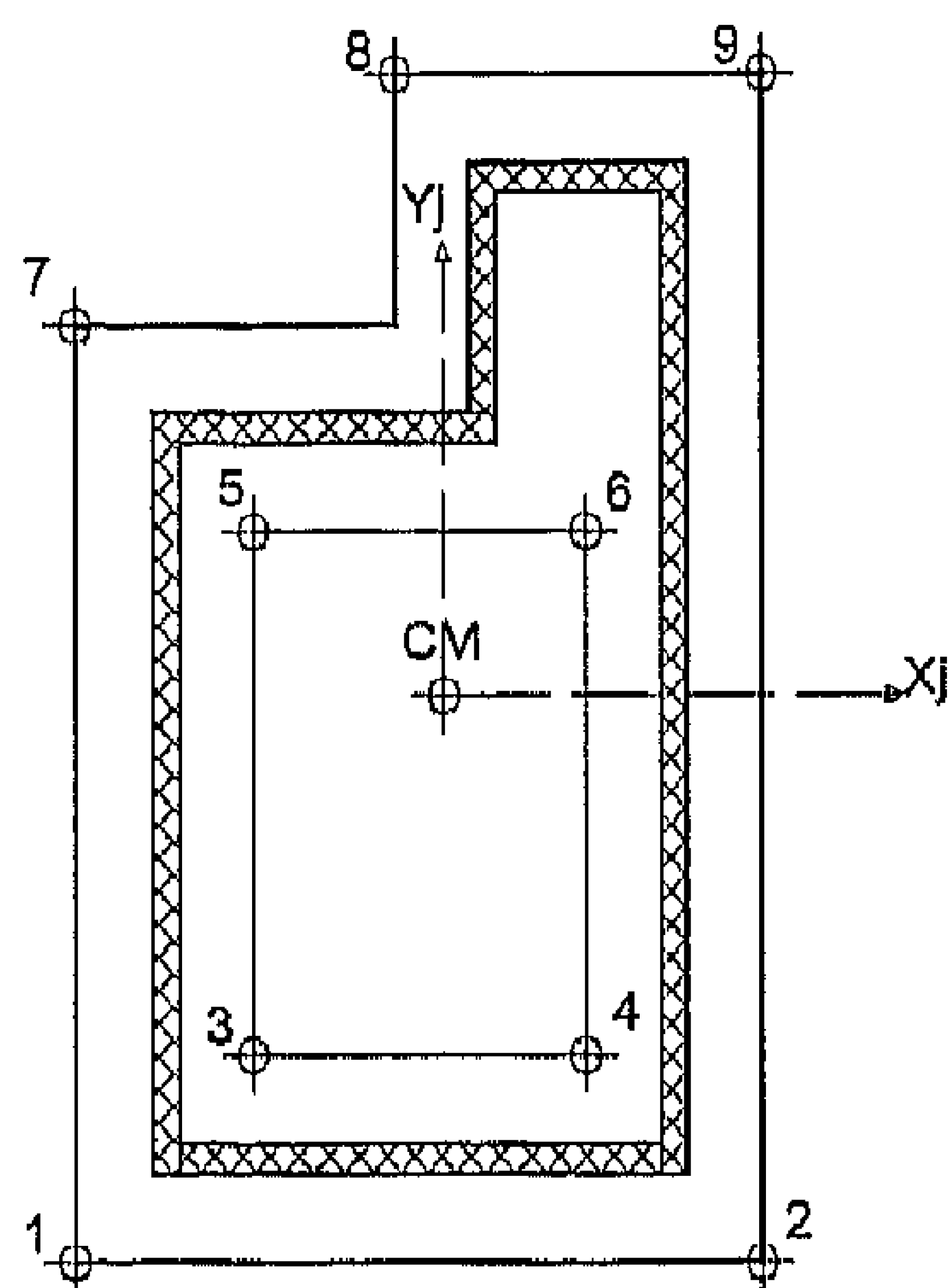
ملاحظة

يمكن حساب إجهاد الضغط على التربة للحالة Comb1 بنفس الطريقة، وذلك بإعادة الخطوتين ١، ٢ والنتائج مدونة في الجدول رقم (٣,٧).

٥- تتم مقارنة الإجهاد المحسوب مع تحمل التربة Bearing Capacity :

Comb 1: $q_{max} = 516.3 < f1 \times q_{an} = 1.3 \times 400 = 520\ KN/m^2$ (Ok.)

COmb 2-5: $q_{max} = 584.5 < f2 \times f3 \times q_{an} = 1.1 \times 1.33 \times 400 = 585.2\ KN/m^2$ (Ok.)



الشكل رقم (٣,١٢). النقاط التسع لحساب الإجهادات.

الجدول رقم (٣,٦). حساب Mx_{total}, My_{total} وفق حالات تراكيب الأحمال الخمسة.

Case No	الوصف	Mx_{total} (KN.m)	My_{total} (KN.m)
Comb1	1.2D+1.6L قوى رأسية فقط	-3525	-1175
Comb2	1.2D+1.0L+1.0Ex قوى رأسية + قوى زلازل بالاتجاه +x	-3525	-1175+3150=1975
Comb3	1.2D+1.0L-1.0Ex قوى رأسية + قوى زلازل بالاتجاه -x	-3525	-1175-3150=-4325
Comb4	1.2D+1.0L+1.0Ey قوى رأسية + قوى زلازل بالاتجاه +y	-3525+4600=1075	-1175
Comb5	1.2D+1.0L-1.0Ey قوى رأسية + قوى زلازل بالاتجاه -y	-3525-4600=-8125	-1175

الجدول رقم (٣,٧). الإجهادت القصوى Ultimate Stresses في النقاط التسع حسب تراكيب الأحمال الخمسة.

Point No.	x_j (m)	y_j (m)	Case1 (KN/m^2)	Case2 (KN/m^2)	Case3 (KN/m^2)	Case4 (KN/m^2)	Case5 (KN/m^2)
1	-2.9	-3.83	516.3	404.6	584.5	408.6	580.4
2	2.49	-3.83	473.5	555.6	338.5	326.5	567.5
3	-1.5	-2.44	478.1	410.9	499.9	398.5	512.3
4	1.09	-2.44	457.5	483.5	381.7	359	506.2
5	-1.51	1.11	408.8	326.6	447.6	427.1	347.1
6	1.09	1.11	388.1	399.4	328.9	387.5	340.9
7	-2.9	2.51	392.4	254.5	490.2	459.5	285.2
8	-0.4	4.21	339.4	284.3	350.8	435	200.1
9	2.49	4.21	316.4	365.3	218.9	391	193.2

٦- تحقيق القص أحادي البعد

باعتبار أن ارتفاع الأساس h=0.4m يكون الارتفاع الفعال d=0.36، بفرض شريحة من الأساس بطول 1m يتم تحقيق القص باعتبار الإجهاد الأعظمي $q_u = 584.5$، (انظر إلى الجدول رقم ٣,٧).

$$V_u = q_u\,(c-d)$$

$$\text{KN}\ V_u = 584.5 \times (0.6-0.36) = 140$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} 1.0d \text{ ، } V_c = \frac{\sqrt{25}}{6}(1.0 \times 0.36) \times 1000 = 300 \text{KN}$$

$$V_u = 140 < 0.75 \times 30 = 225 \text{ (Ok.)}$$

٧- حساب التسليح الرئيس (سفلي بالاتجاه القصير)

يحسب العزم الحدي الأعظمي باعتبار الإجهاد الحدي الأعظمي ($qu=584.5\ KN/m^2$) :

$$M_u = q_u \times c^2 / 2,\ M_u = 584.5 \times 0.6^2 / 2 = 105\ KN.m/m,\ \rho = 0.0022$$

المثال (٣,٥): أساس شريطي تحت صف أعمدة (مقطع T مقلوب)

Strip Footing Under Row of Columns – Inverted T Section

أساس شريطي لصف من ثلاثة أعمدة ذات أحمال P (ميتة + حية) موضحة في الشكل رقم (٣,١٣) مقطعه على شكل T مقلوبة، مع العلم أن تحمل التربة الصافي المسموح $q_{an}=130$ KPa ومعامل مرونة الخرسانة $E=2.48 \times 10^4$ MPa والمقاومة المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 30$ MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y=414$ MPa والمعامل $f2=1.35$، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي بمقطع T مقلوبة تحت صف أعمدة وفق الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة والمقارنة بينهما، التحقق من كون الأساس جاسئا، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

أولاً: الحل وفق الطريقة الجاسئة (النموذج التحليلي M1)

التأكد من كون الأساس جاسئا

حسب العلاقة (1.4)

$$K_s = 120 \times 130 = 15600\ KN/m^3$$

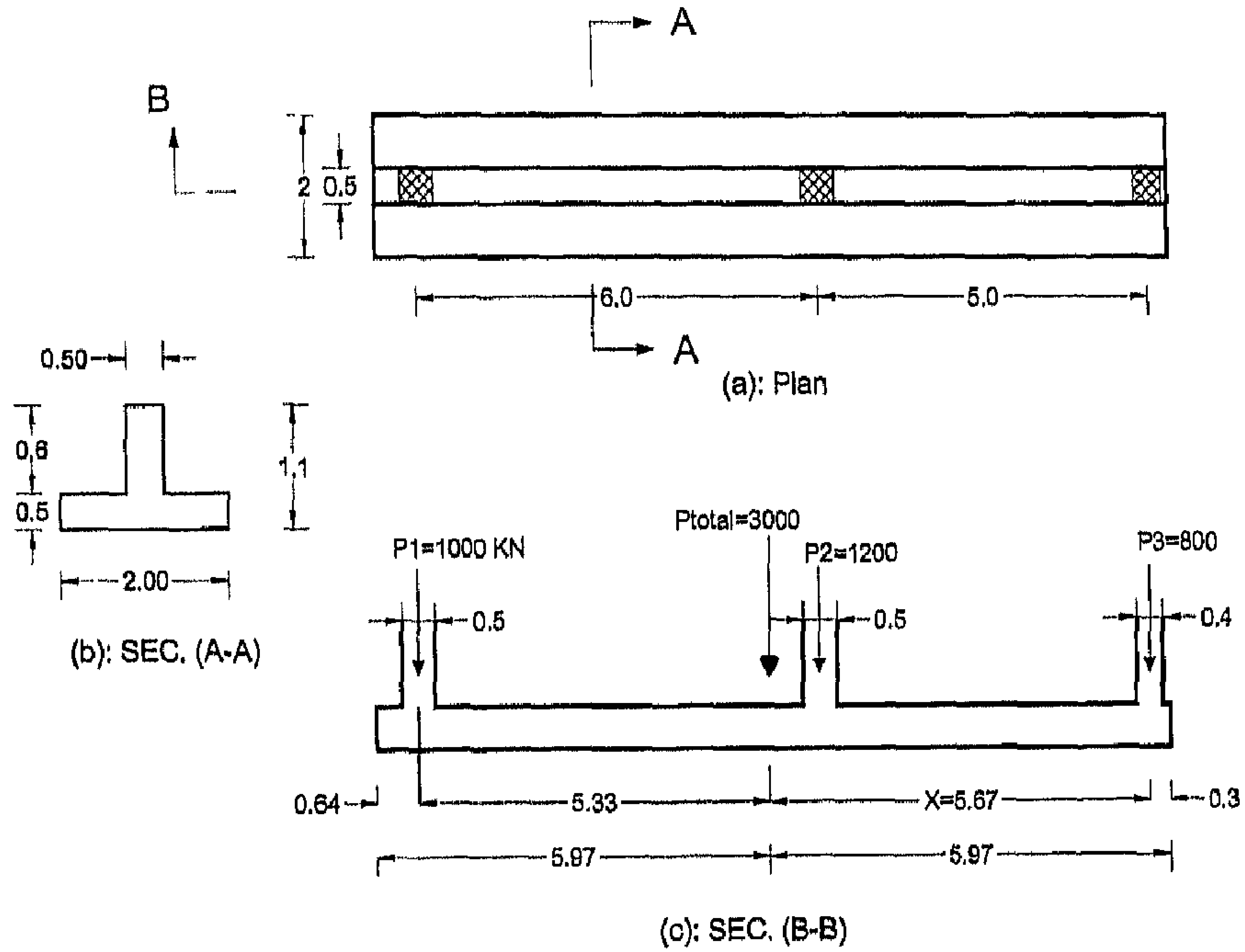
حسب العلاقات (3.14, 3.15, 3.16)

عزم القصور الذاتي لمقطع الأساس مع إهمال البلاطة

$$I = 0.5\times1.1^3/12 = 0.05546\ m4$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{0.5\times15600}{4\times2.48\times10^4\times0.05546\times1000}} = 0.194$$

D = 6 < 1.75/0.194=9.02 m (Ok)



الشكل رقم (٣,١٣). أساس شريطي تحت صف أعمدة – مقطع T: (a) مسقط الأساس، (b) مقطـــع A-A، (c) مقطع B-B.

تحديد أبعاد الأساس

بإهمال فرق وزن الأساس عن تربة الردم تكون محصلة الأحمال

$$P_{total} = 1000 + 1200 + 800 = 3000 \text{ KN}$$

بأخذ عزوم الأحمال حول محور القوة P3

$$3000 \times X = 1000 \times 110 + 1200 \times 5 \rightarrow X = 5.67\text{m}$$

باعتبار أن توزيع الأحمال بشكل منتظم يجب أن ينطبق مركز ثقل الأحمال مع مركز ثقل الأساس، وبالتالي يكون نصف طول الأساس

$$L/2 = 5.67 + (0.2 + 0.1) = 5.97 \text{ m}$$

وعليه بعد مركز العمود اليساري عن طرف الأساس

$$C2 = 5.97 - 5.33 - 0.25 = 0.39 \text{ m}$$

وبذلك يكون طول الأساس

$$L = 2 \times 5.97 = 11.94 \ (11.95 \text{ m})$$

أما عرض الأساس B فيحسب

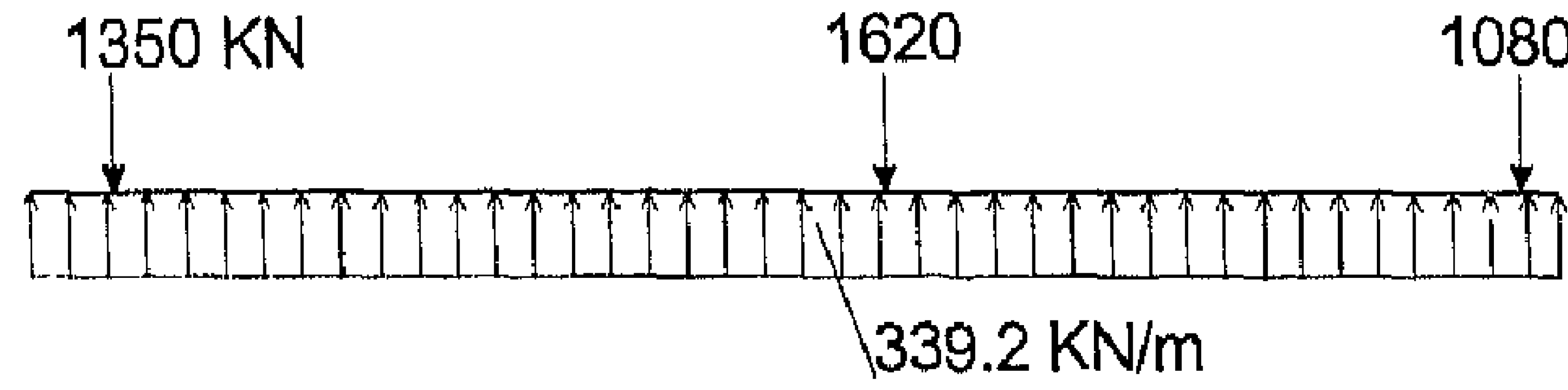
$$\text{Area} = 3000/130 = 23.08 \text{ m}^2, \ B = 23.08/11.94 = 1.93 \text{ m} \ (2.0 \text{ m})$$

مخططات قوى القص وعزم الانحناء

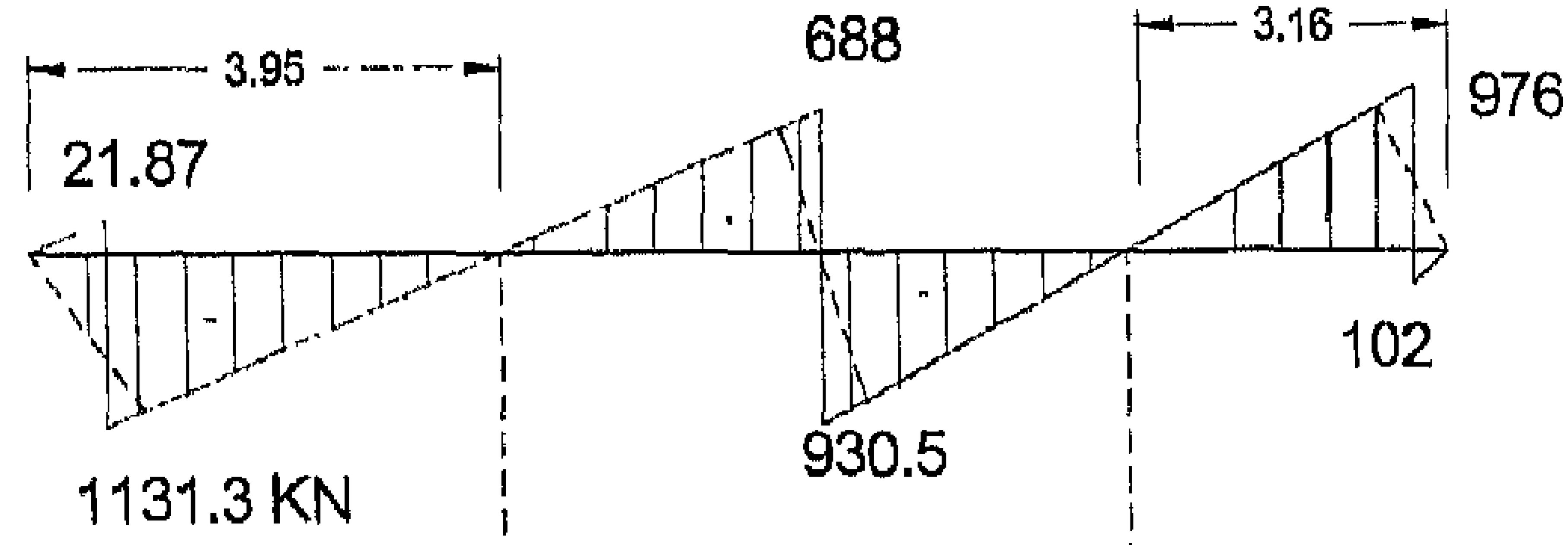
يتم رسم مخطط الجسم الحر للأساس Free body diagram باعتبار أن الأساس عنصر مقرر ستاتيكيا Statically determined ومحمل بأحمال الأعمدة القصوى (مضروبة بالمعامل f2=1.35) ورد فعل التربة الحدي من الأسفل q_u، (انظر الشكل رقم ٣,١٤ a).

$$q_u = 1.35 \times 3000/11.94 = 339.2 \text{ KN/m}$$

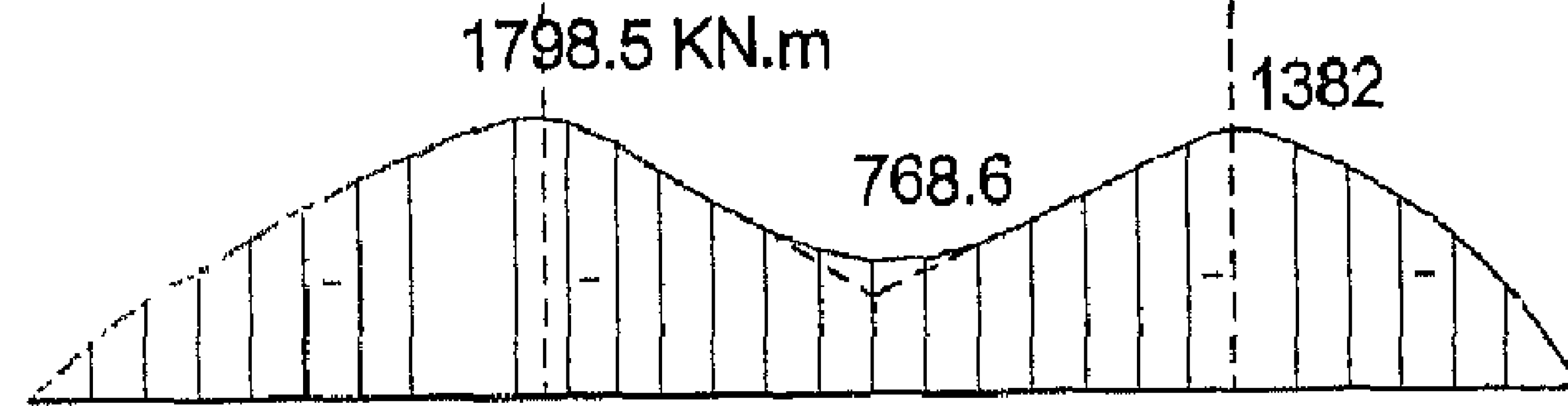
من ثم يتم حساب قوة القص وعزم الانحناء في عدة مقاطع؛ ليتم رسم مخطط قوى القص ومخطط عزم الانحناء على طول الأساس، (انظر الشكل رقم ٣,١٤ b,c).



(a): Free body diagram



(b): S. F. Diagram (NTS)



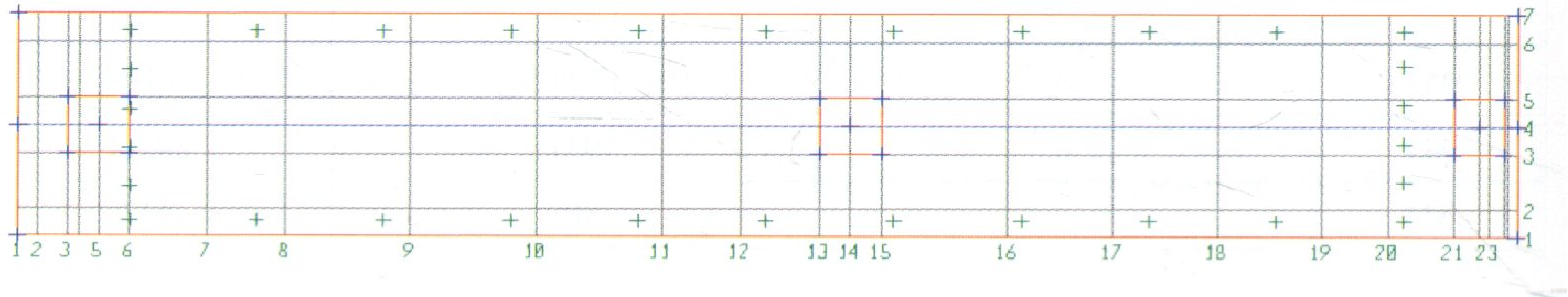
(c): B. M. Diagram (NTS)

الشكل رقم (٣,١٤). مخططات تحليل الأساس: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

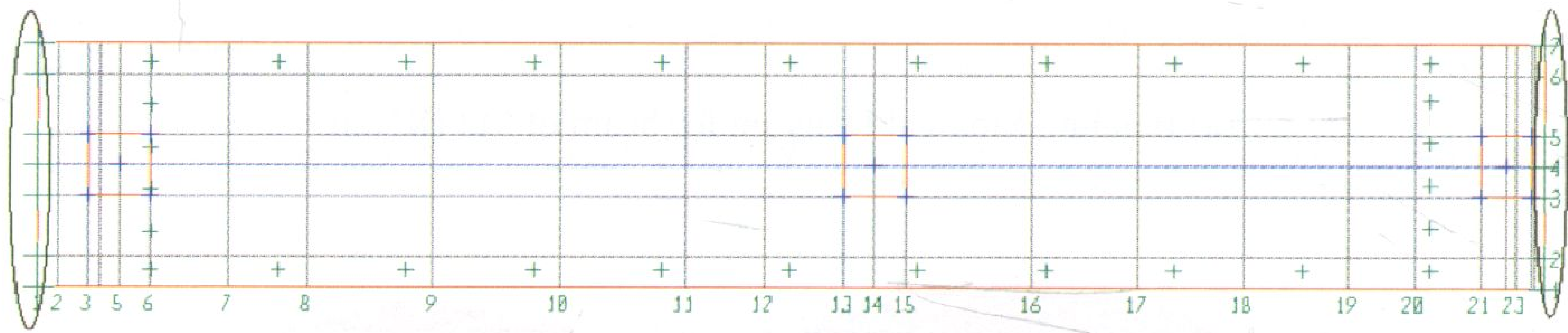
ثانيًا : الحل وفق طريقة العناصر المحدودة

النموذج التحليلي M2: يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing أما الأعمدة فنوعها Column ويمثل الجسر المقلوب باستخدام عنصر كمرة Beam element ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد آليا بإدخال معامل رد فعل التربة (K_s = 120×130= 15600 KN/m^3)، يتم تعريف مركز كل عمود باعتباره Point نوع Null وأبعاده وذلك لإدخال الحمل المحوري، (انظر الشكل رقم ٣,١٥ a) الذي يظهر النموذج التحليلي M2.

النموذج التحليلي M3: نفس النموذج التحليلي M2 مع مضاعفة صلابة النوابض للعقد الطرفية المشار إليها بالشكل رقم (٣,١٥ b).



(a) Analytical Model: M2



(b) Analytical Model: M3

الشكل رقم (٣,١٥). النموذجان التحليليان M2, M3: (a) النموذج التحليلي M2، (b) النموذج التحليلي M3.

النتائج

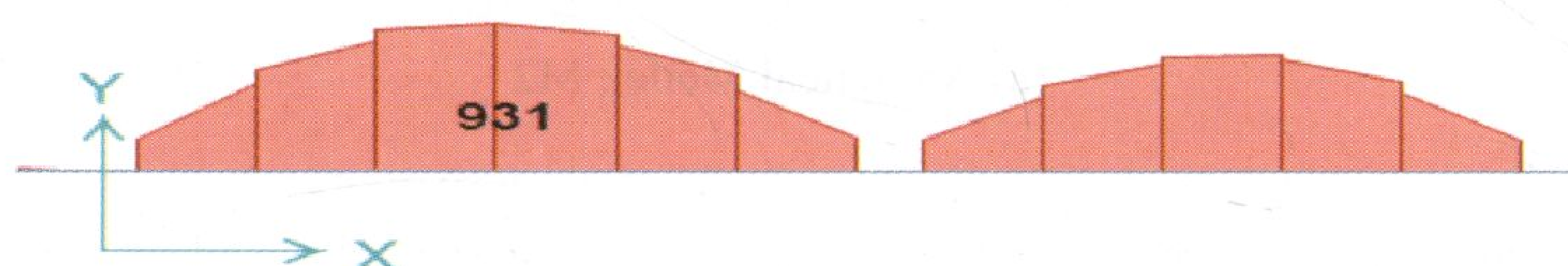
يتم التحليل الإنشائي للحصول على النتائج، يبين الشكل رقم (٣,١٦) مخطط عزم الانحناء في الكمرة المقلوبة في النموذجين M2, M3 وذلك لحالة التركيب الحدي:

Comb1: 1.35 (P_D+P_L)

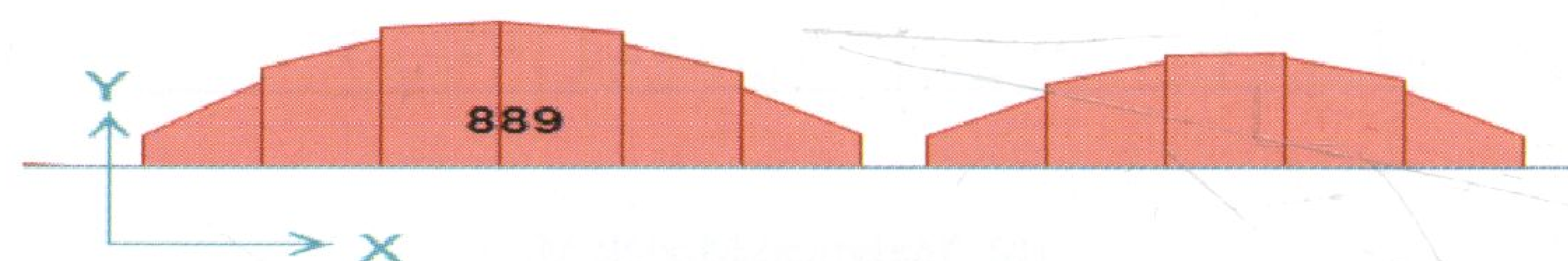
ويبين الجدول رقم (٣,٨) القيم الأعظمية لعزم الانحناء Bending moment وقوى القص Shear force في الجسر المقلوب في النموذج الجاسئ M1 والنموذج M2 والنموذج M3.

الجدول رقم (٣,٨). مقارنة النتائج في النماذج M1, M2, M3 بالكمرة فقط.

Model No.	BM+ (Max. Ultimate) @col face KN.m تسليح سفلي	BM- (Max. Ultimate) @ mid. Span KN.m تسليح علوي	V (Max Ultimate) KN
M1	0	1798.5	1131.3
M2	0	931	342.4
M3	0	889	337



(a) Bending Moment Diagram for beam of M2 (KN.m)



(b) Bending Moment Diagram for beam of M3 (KN.m)

الشكل رقم (٣,١٦). مخططا عزم الانحناء للكمرة في النموذجين M2, M3: (a) مخطط عزم الانحناء للكمرة للنموذج M2، (b) مخطط عزم الانحناء للكمرة للنموذج M3.

مقارنة النتائج والتوصيات

يلاحظ انخفاض كبير لقيمة عزم الانحناء الأعظمي والقص في حال اعتماد طريقة العناصر المحدودة في تحليل الأساس مقارنة مع الطريقة الجاسئة ؛ لذا يفضل اعتماد طريقة العناصر المحدودة. علما أن هذا الانخفاض يعود لعدة أسباب منها :

١- النموذج M1 يفترض أن الأساس جاسئ، وبالتالي الهبوط منتظم أما النموذج M2 يعتبر استناد الأساس على نوابض مرنة ، وبالتالي يمكن أن يكون الهبوط مختلفا حسب شدة وموضع الأحمال.

٢- في الطريقة الجاسئة (النموذج M1) يتم حساب الجهود باعتبار أن الكمرة هي العنصر الحامل الرئيس الذي يقاوم كافة الأحمال المنقولة له من الأسفل دون مساهمة البلاطة في ذلك بشكل مباشر ، أما في النموذج M2 فالكمرة المقلوبة والبلاطة كلاهما يساهم في مقاومة الأحمال حسب صلابته. الجدير بالذكر أنه يزداد العزم بالكمرة كلما ازدادت جساءتها بالمقارنة مع جساءة البلاطة.

ثالثًا : تصميم الأساس وفق النموذج M2

تحقيق البلاطة على القص أحادي الاتجاه

من نتائج التحليل الإنشائي نجد أن إجهاد القص الأعظمي المصعد على بعد d من طرف الجسر المقلوب وعلى اعتبار أن الارتفاع الفعال للبلاطة d=44 cm

$$V_u = 140 \text{ KN}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} 1.0d \text{ , } V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(1.0 \times 0.36) \times 1000 = 329 \text{ KN}$$

$$V_u = 140 < 0.75 \times 329 = 247 \text{ KN (Ok.)}$$

تسليح الجسر المقلوب على القص

يصمم الجسر على القص وفق القيمة العظمى الواقعة على مقطع كائن بعد d من وجه العمود

وعلى اعتبار أن الارتفاع الفعال للجسر d= 1.0 m وبنتيجة التصميم نستنتج القيمة التالية

$A_v/s=4.246\ cm^2/m$ (Select $A_v=4\phi 10/20cm$)

تسليح الجسر المقلوب على الانحناء

العزم الأعظمي السالب (تسليح علوي)

$M_u = -931$ KN.m, $\mu = 0.0052$ ($7\phi 22$)

العزم الأعظمي الموجب (تسليح سفلي)

$M_u = 0$ KN.m

$\rho = \rho_{min}=0.249\sqrt{f'c}/f_y$, $\rho=0.249\sqrt{30}/414=0.00329$ ($5\phi 22$)

تسليح بلاطة الأساس

(أ) الاتجاه القصير

العزم الأعظمي الموجب (تسليح سفلي)

$M_u = 77$ KN.m/m, $\rho = 0.0018$ ($6\phi 14/m$)

(ب) الاتجاه الطويل

العزم الأعظمي السالب (تسليح علوي)

$M_u = -188$ KN.m/m, $\rho = 0.0027$ ($6\phi 16/m$)

مخطط التسليح : انظر الملحق C2.

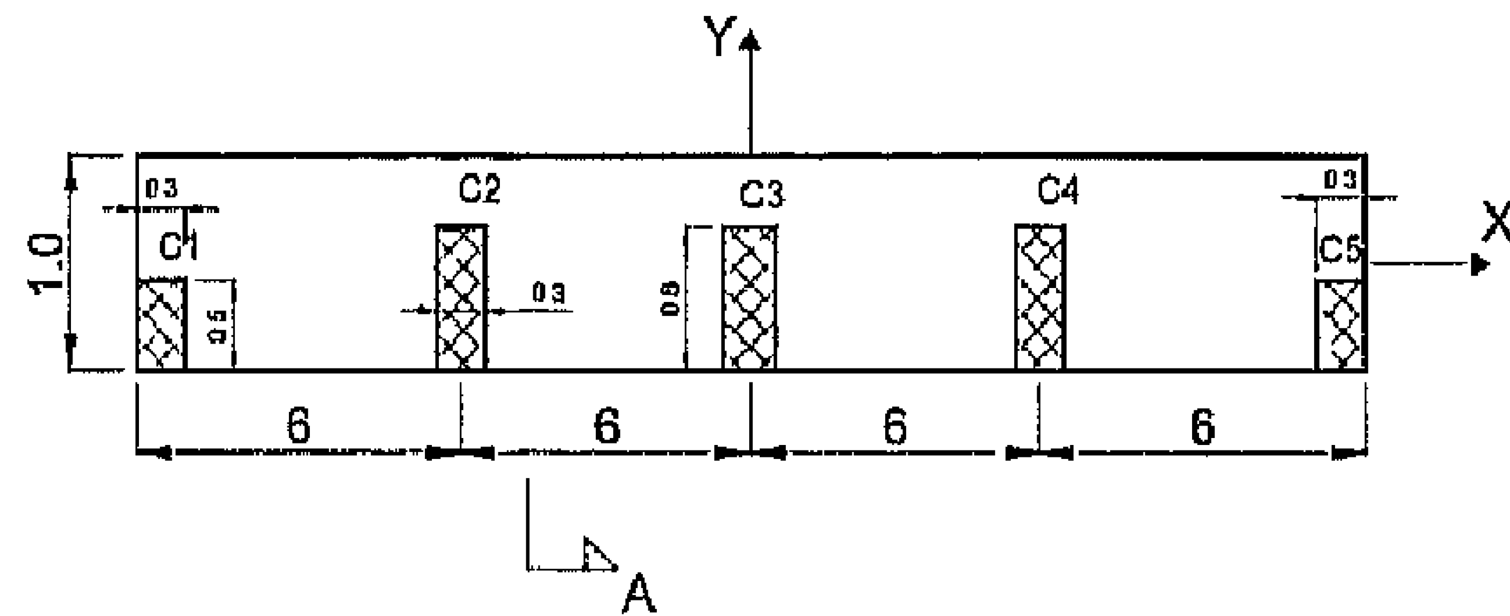
المثال (٣,٦): أساس شريطي تحت صف أعمدة (مقطع مستطيل)

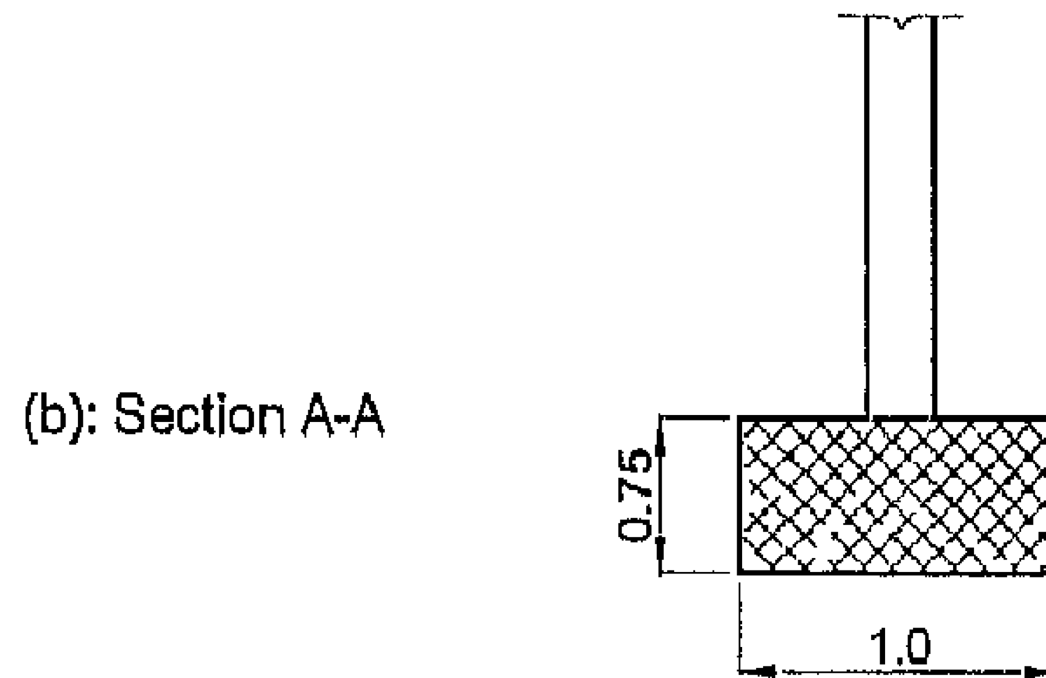
Strip Footing Under Row of Columns – Rectangular Section

صمم أساسًا شريطيًا باستخدام طريقة العناصر المحدودة لصف أعمدة الواجهة (انظر الشكل رقم ٣,١٧) لمبنى من أربعة طوابق باعتبار الأحمال القصوى الموضحة بالجدول رقم (٣,٩) مع العلم أن تحمل التربة الصافي: q_{an}= 380 KPa والمقاومة الإسطوانية المميزة للخرسانة على الضغط fc = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa مع إمكانية استخدام المعاملات f1=1.35, f2=1.1, f3=1.33 ، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي تحت صف أعمدة واجهة وفق طريقة العناصر المحدودة، وذلك بتمثيل الأساس بطريقتين باستخدام عناصر خطية وعناصر صفائحية، تحويل العزوم إلى مزدوجات قوى، حساب إجهاد الضغط على التربة، مخطط التسليح.





الشكل رقم (٣,١٧). أساس شريطي تحت صف أعمدة – مقطع مستطيل: (a) مسقط الأساس، (b) المقطع A-A.

الجدول رقم (٣,٩). الأحمال القصوى للأعمدة.

	Comb1 1.2D+1.6L		Comb2 1.2D+1.0L+1.0Ex	
Col. No.	Fz (KN)	My (KN.m)	Fz (KN)	My (KN.m)
C1	835.1	-39	527.1	135
C2	1628.9		1509.6	190
C3	1619.1		1295.7	187
C4	1628.9		1287.3	189
C5	835.1	39	805.7	195

البرنامج المفضل استخدامه

SAP 2000– خطوات النمذجة التفصيلية موضحة في الملحق B2 رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

١ – حساب أبعاد الأساس

يتم افتراض عرض الأساس b=1.0 m وارتفاع الأساس h=75 cm والارتفاع الفعال d=67 cm وفرق وزن التربة عن الأساس W

$$W=24 \times 1.0 \times 0.75 \times (25-18) = 126 \text{ KN}$$

(أ) حالة التحميل الأولى Comb1

يبين الجدول رقم (٣,١٠) في عموده الأول أرقام الأعمدة، العمود الثاني والثالث بعد مراكز الأعمدة عن مركز ثقل الأساس، العمود الرابع والسابع القوى المؤثرة على الأساس، العمودان الخامس والسادس عزوم القوى المحورية حول المحورين X، Y على التوالي، العمود السابع يحتوي على قيم العزم المؤثر على الأساس حول المحور y

$$e_x= 0$$

$$e_y= 905.24/(6547.1+126)= 0.136 \text{ m}$$

الجدول رقم (٣,١٠). حسابات حالة التحميل Comb1.

Col. No.	x (m)	y (m)	Fz (KN)	Fz×x (KN.m)	Fz×y (KN.m)	My (KN.m)
C1	-11.85	-0.25	835.1	-9895.9	-208.78	-39
C2	-6	-0.1	1628.9	-9773.4	-162.89	-
C3	0	-0.1	1619.1	0	-161.91	-
C4	6	-0.1	1628.9	9773.4	-162.89	-
C5	11.85	-0.25	835.1	9895.94	-208.78	39
Σ			6547.1	0	-905.24	0

الضغط الأعظمي والأصغري على التربة

$$q = \frac{P}{Area}\left(1+6\frac{ey}{B}\right)$$

$$q=\frac{6547.1+126}{24\times1}\times\left(1\pm6\frac{0.136}{1}\right) = 504.9,\ 51\ KN/m^2$$

$$q_{max} = 504.9 < 1.35\times380 = 513\ KN/m^2\ (Ok.)$$

$$q_{min} = 51\ KN/m^2 > 0\ (Ok.)$$

(ب) حالة التحميل الثانية Comb2

يبين الجدول رقم (٣,١١) في عموده الأول أرقام الأعمدة، العمود الثاني والثالث بعد مراكز الأعمدة عن مركز ثقل الأساس، العمود الرابع والسابع القوى المؤثرة على الأساس، العمودان الخامس والسادس عزوم القوى الرأسية حول المحورين X، Y على التوالي، العمود السابع قيم العزم حول المحور y

$$e_x = (1967.61+896) / (5425.4+126) = 0.52\ m$$

$$e_y = -742.46/(5425.4+126) = -0.134\ m$$

الضغط الأعظمي والأصغري على التربة

$$q = \frac{P}{Area}\left(1 + 6\frac{ex}{L} + 6\frac{ey}{B}\right)$$

$$q = \frac{5425.4 + 12_6}{2_{4\times 1}} \times \left(1 \pm 6\frac{0.5_2}{2_4} \pm 6\frac{-0.13_4}{1}\right)$$

$$q_{max} = 447.4 < 1.1\times 1.33\times 380 = 556\ KN/m^2\ (Ok.)$$

$$q_{min} = 15\ KN/m^2 > 0\ (Ok.)$$

الجدول رقم (٣,١١). حسابات حالة التحميل Comb2.

Col. No.	x (m)	y (m)	Fz (KN)	Fz×x (KN.m)	Fz×y (KN.m)	My (KN.m)
C1	-11.85	-0.25	527.1	-6246.1	-131.78	135
C2	-6	-0.1	1509.6	-9057.6	-150.96	190
C3	0	-0.1	1295.7	0	-129.57	187
C4	6	-0.1	1287.3	7723.8	-128.73	189
C5	11.85	-0.25	805.7	9547.55	-201.43	195
Σ			5425.4	1967.61	-742.46	896

٢- الحل وفق طريقة العناصر المحدودة

النموذج التحليليM1 : يتم تمثيل الأساس باستخدام عناصر خطية Frame elements ، (انظر الشكل رقم ٣,١٨) ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقا لمساحة القطاع المحدد التابع لكل عقدة ومعامل رد فعل التربة

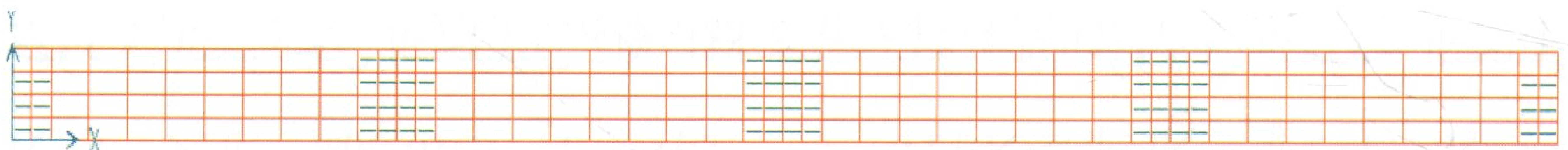
$$K_s = 120 \times 380\times 1.0 = 45600\ KN/m^3$$

وذلك باستخدام Line spring (1.0 في العلاقة أعلاه يمثل عرض الأساس). أما بالنسبة لدرجات الحرية لجميع العقد فيتم السماح بالانتقال الرأسي والدوران في المستوي حول المحور y فقط أي درجات الحرية المتاحة هي u3, r2. بالنسبة لأحمال الأعمدة الرأسية فيتم إدخالها على أنها أحمال مركزة على العقد حسب موقع الأعمدة، وكذلك العزوم توزع على العقد كقوى ضغط وشد، (انظر الملحق A1)، كذلك راجع الملحق B2 من أجل معلومات أكثر تفصيلا عن نمذجة الأساس.

النموذج التحليلي M2: يتم تمثيل الأساس باستخدام عناصر صفائحية، (انظر الشكل رقم ٣,١٩) ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض كما هو الحال في النموذج M1 ولكن باستخدام Area spring وباعتبار $Ks=45600\ KN/m^3$ أما بالنسبة لدرجات الحرية لجميع العقد فيتم السماح بالانتقال الرأسي والدوران في المستوي فقط أي درجات الحرية المتاحة هي: u3, r1, r2. بالنسبة لأحمال الأعمدة الرأسية فيتم إدخالها على أنها أحمال موزعة بانتظام على عناصر تتوضع على مقطع العمود وتبرز عنه بمقدار نصف الارتفاع الفعال للأساس تقريبا، أما عزوم الزلازل فتحول إلى مزدوجات قوى ضاغطة وشادة على الأساس، (انظر الجدول رقم ٢) من الملحق A1 من أجل طريقة تحويل العزوم إلى مزدوجات قوى.



الشكل رقم (٣,١٨). النموذج التحليلي M1 مع إظهار العقد محملة بأحمال رأسية.



الشكل رقم (٣,١٩). النموذج التحليلي M2 مع إظهار العناصر المحملة بأحمال رأسية موزعة بانتظام.

٣- النتائج

حساب إجهاد الضغط على التربة

تم في الفقـرة الأولى تحقيـق عـدم تجـاوز إجهـاد التربـة وفـق الطريقـة التقليديـة وللاستئناس يمكـن الحـصول علـى قيمة الهبوط الأعظمـي للأسـاس، ومـن ثـم حـساب الضغط على التربة.

الهبوط الأعظمي للأساس نتيجة الحالة Comb1 (النموذج التحليلي M2) مع إهمال فرق وزن الخرسانة عن التربة

$$\text{Max Deflection} = 0.011 \text{ m}$$

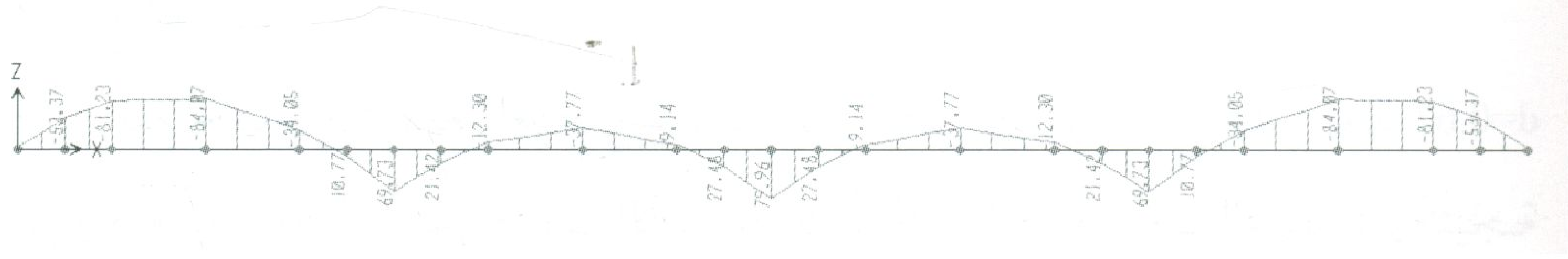
$$q = Ks \times \Delta$$

$$q = 45600 \times 0.011 = 501.6 \text{ KN/m}^2$$

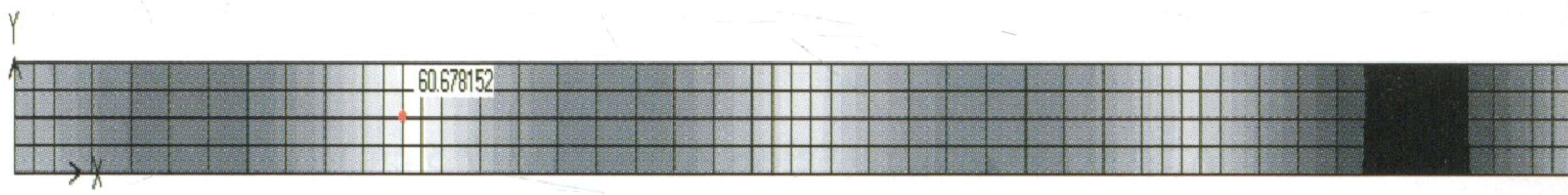
$$q/1.35 = 501.6/1.35 = 372 \text{ KN/m}^2 < (q_{na} = 38) \text{ Ok.}$$

قيم الجهود ومقارنة النتائج

يبين الشكل رقم (٣,٢٠) مخطط عزم الانحناء للنموذج التحليلي M1 نتيجة حالة التحميل Comb1 وكذلك يبين الشكل رقم (٣,٢١) مخطط عزم الانحناء للنموذج التحليلي M2 نتيجة حالة التحميل Comb1. يبين الجدول رقم (٣,١٢) مقارنة بين قيم الجهود في النموذجين التحليليين M1, M2 حيث تبدو قيم العزوم في النموذج التحليلي M1 أكبر بحوالي 10-20% تقريبًا، وذلك يعود جزئيا لإدخال الأحمال على الأساس كقوى مركزة وكذلك يجب الانتباه إلى أنه تم إهمال اللامركزية في النموذج M1 أما في النموذج M2 فتم اعتبارها في الأعمدة الطرفية فقط.



الشكل رقم (٣,٢٠). مخطط عزم الانعطاف (الحالة Comb1).



الشكل رقم (٣,٢١). مخطط عزم الانعطاف (الحالة Comb2).

الجدول رقم (٣,١٢). مقارنة لقيم الجهود في النموذجين M1, M2.

Model No.	BM+ (Max. Ultimate) @col face KN.m/m Comb2 تسليح سفلي	BM- (Max. Ultimate) @ mid. Span KN.m/m Comb2 تسليح علوي	V (Max Ultimate) @ d distance from col face KN Comb1
M1	780	-889	600
M2	610	-778	580

٤- تصميم الأساس وفق النموذج M1

التسليح الرئيس السفلي

$M_u = 780$ KN.m, $\rho=0.0049$ ($12\phi20$)

التسليح الرئيس العلوي

$M_u = 889$ KN.m, $\rho=0.0056$ ($12\phi20$)

التسليح العرضي

يتم حساب التسليح العرضي باعتبار قوة القص الموافق لمقطع على بعد d=0.67 من وجه العمود، وتتم معاملة الأساس كأنه كمرة في حساب القص، وبنتيجة التصميم نستنتج القيمة التالية :

$$V_u = 600\ KN$$

$$A_v/s=0.15\ cm^2/cm\ (\text{Select } A_v=6\phi 10/17.5\ cm)$$

مخطط التسليح : انظر الملحق C3.

المثال (٣,٧): أساس شريطي تحت صف أعمدة باتجاهين

Strip Footing Under Row of Columns in Two Directions

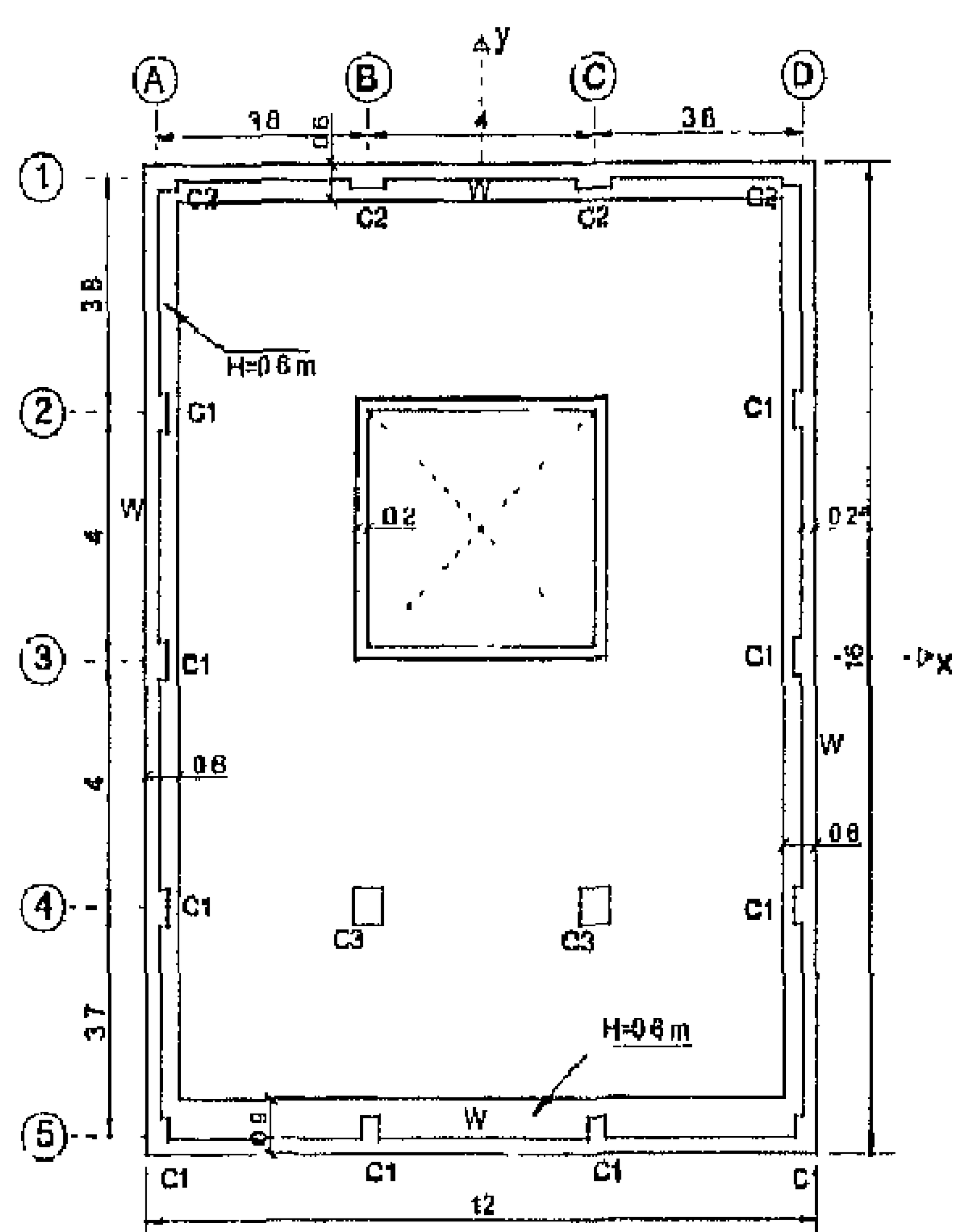
يطلب تصميم أساس شريطي تحت صف أعمدة باتجاهين لمبنى مؤلف من (ثلاث طوابق + قبو)، (انظر الشكل رقم ٣,٢٢) علمًا أن تحمل التربة المسموح الصافي q_{an}=360 KPa وأحمال الأعمدة والحوائط موضحة بالجدول رقم (٣,١٣) وأبعادها موضحة بالجدول رقم (٣,١٤). يتم اعتبار المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y=414 MPa مع إمكانية استخدام المعاملات f1=1.35, f2=1.1, f3=1.33، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

تصميم أساس شريطي تحت صف أعمدة باتجاهين باستخدام (أحمال الجاذبية + الزلازل).

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.



الشكل رقم (٣,٢٢). مسقط لأساس شريطي تحت صفوف الأعمدة باتجاهين.

الجدول رقم (٣,١٣). أحمال الأعمدة.

	Comb1 (1.2D+1.6L)	Comb2 (1.2D+1.0L+1.0Ex)		Comb3 (1.2D+1.0L+1.0Ey)	
Col No	Pz (KN)	Pz (KN)	My (KN.m)	Pz (KN)	Mx (KN.m)
A-5	550	300	60	400	80
B-5	1300	1000	100	1020	-
C-5	1300	1000	90	1020	-
D-5	550	550	90	550	120
A-4	820	720	-	700	130
D-4	820	720	-	700	140
A-3	900	670	-	650	130
D-3	900	670	-	650	140
A-2	820	710	-	700	120
D-2	820	690	-	700	130
A-1	420	250	90	350	80
B-1	850	750	140	730	-
C-1	850	750	140	760	-
D-1	420	400	130	350	60
W	50 KN/m	40 KN/m		40 KN/m	

الجدول رقم (٣,١٤). أبعاد الأعمدة.

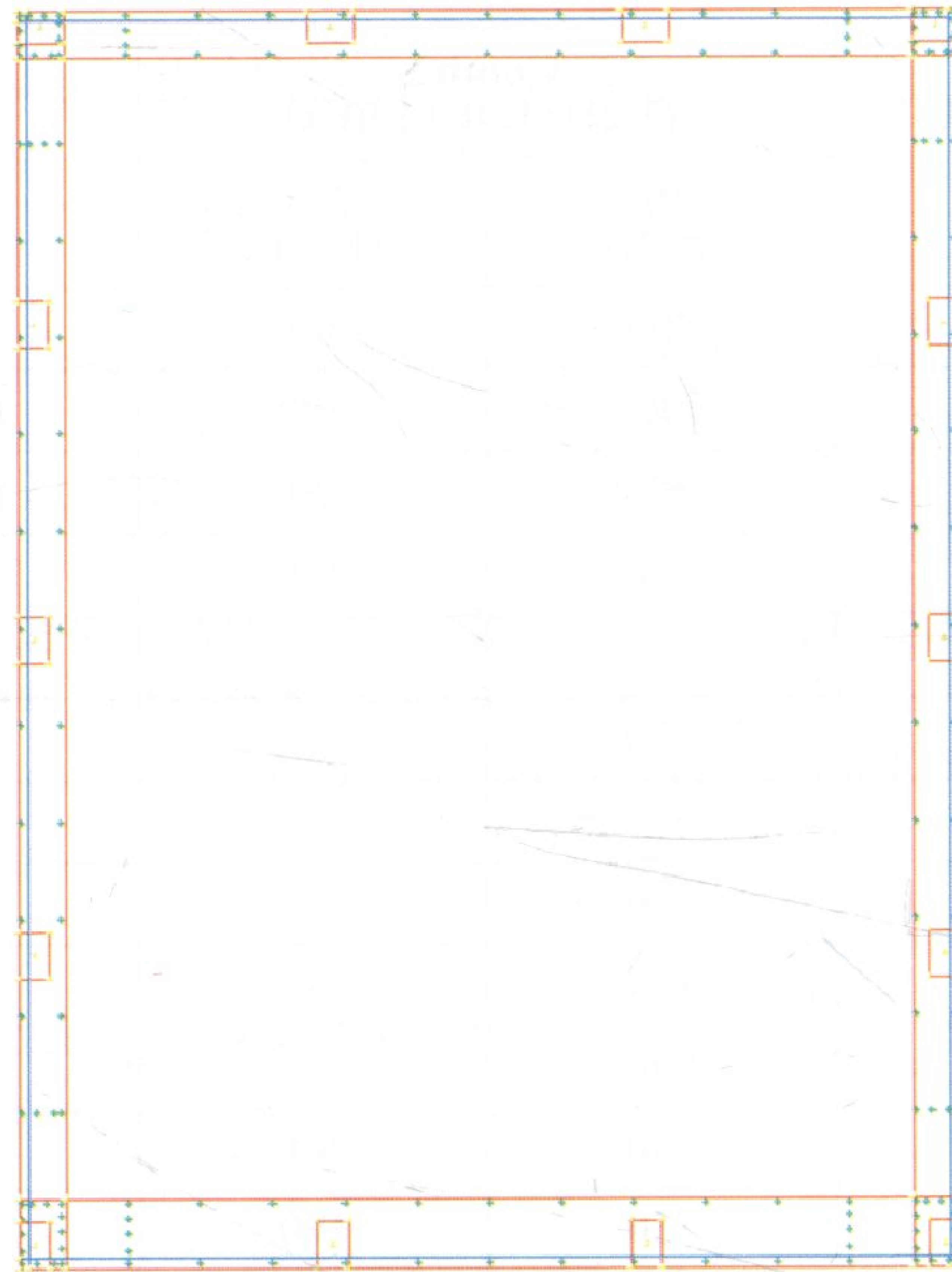
Col No	C1	C2	C3
Size: x×y (cm)	40×60	60×40	50×60

١- الحل وفق طريقة العناصر المحدودة (النموذج التحليلي M1)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing أما الأعمدة فنوعها Column وتمثل جدران الأقبية باستخدام عنصر كمرة Beam element ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد آليا بإدخال معامل رد فعل التربة :

$$K_s=120\times360= 43200\ KN/m^3$$

يتم تعريف مركز كل عمود باعتباره Point نوع Null وأبعاده، وذلك لإدخال الحمل الرأسي، (انظر الشكل رقم ٣,٢٣) الذي يظهر النموذج التحليلي M1.



الشكل رقم (٣,٢٣). النموذج التحليلي M1.

٢- تحقيق عدم تجاوز إجهاد التربة (بإهمال فرق وزن الأساس عن التربة)
من نتائج التحليل الإنشائي نجد أن أعلى قيمة لإجهاد ضغط التربة :
(أ) حالة التحميل Comb1

$$q_u = 475 \text{ KN/m}^2$$

$$q = 475/1.35 = 352 < q_{an} = 360 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

(ب) حالة التحميل Comb2

$$q_u = 426 < 1.1 \times 1.33 \times 360 = 527 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

(ج) حالة التحميل Comb3

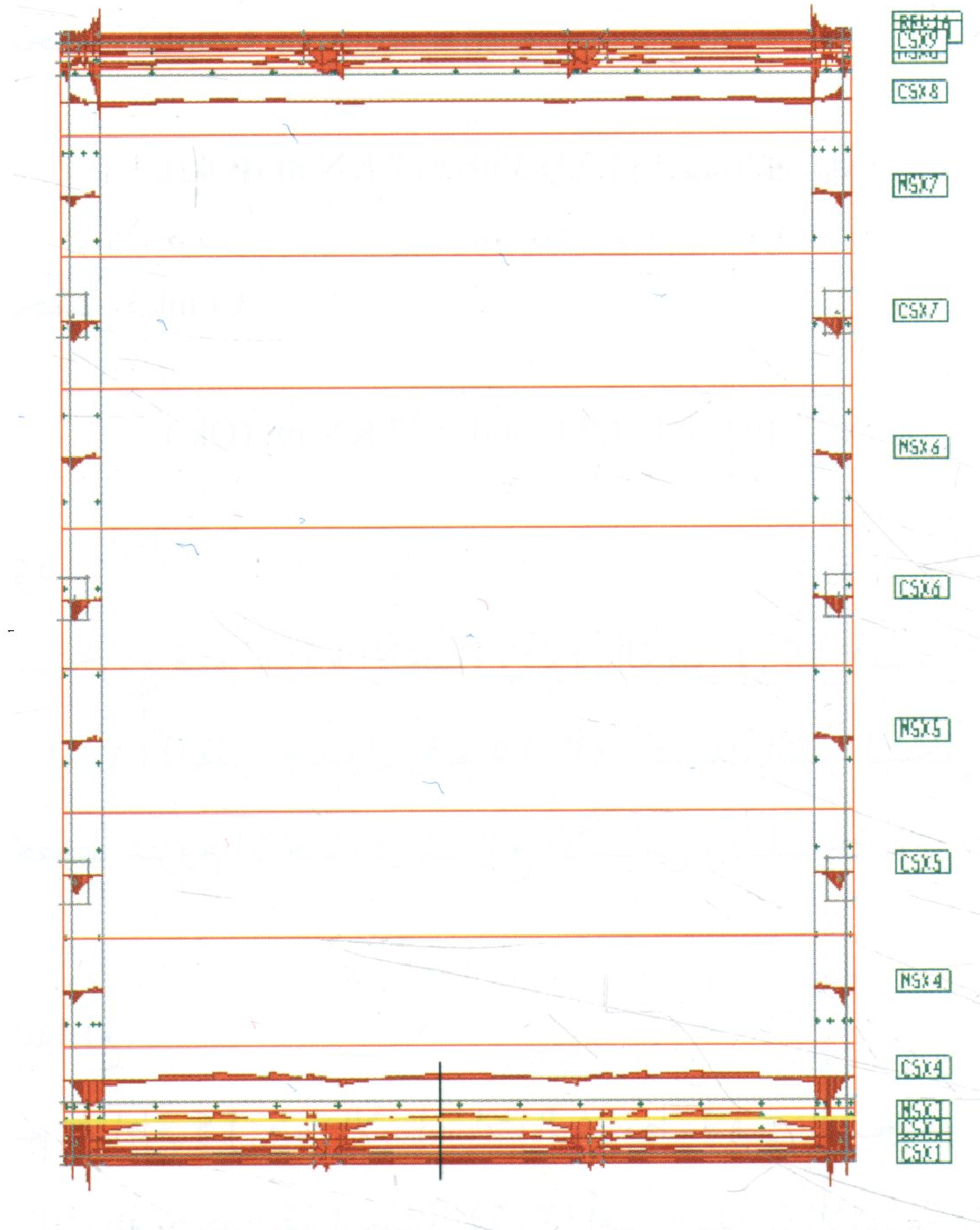
$$q_u = 409 < 1.1 \times 1.33 \times 360 = 527 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

٣- قيم الجهود
يتم استخراج قيم عزوم الانحناء وقوى القص في كل أساس شريطي على المحاور (A, D, 1, 5) (انظر الجدول رقم ٣,١٥)، كذلك انظر الشكل رقم (٣,٢٤) الذي يبين مخطط عزوم الانحناء في شرائح الأساس وذلك لحالة تركيب الأحمال Comb1.

٤- تصميم المقاطع
تصمم مقاطع كل من الأساسات الشريطية في المحاور A, D, 1, 5 باعتبارها كمرات بنفس طريقة المثال (٣,٦) أما جدران الأقبية فتصمم على أنها كمرات عميقة.

الجدول رقم (٣,١٥). عزوم الانحناء وقوى القص القصوى في الأساس الشريطي.

رقم الكمرة (محور)	**BM+ (Max. Ultimate) @col face** KN.m/m Comb1 تسليح سفلي	**BM- (Max. Ultimate) @ mid. Span** KN.m/m Comb1 تسليح علوي	**V (Max Ultimate) @ d distance from col face** KN Comb1
A	167	40	153
D	167	40	153
1	61.75	30	127.5
5	178.1	108.1	230



الشكل رقم (٣,٢٤). مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه X (التركيب Comb1).

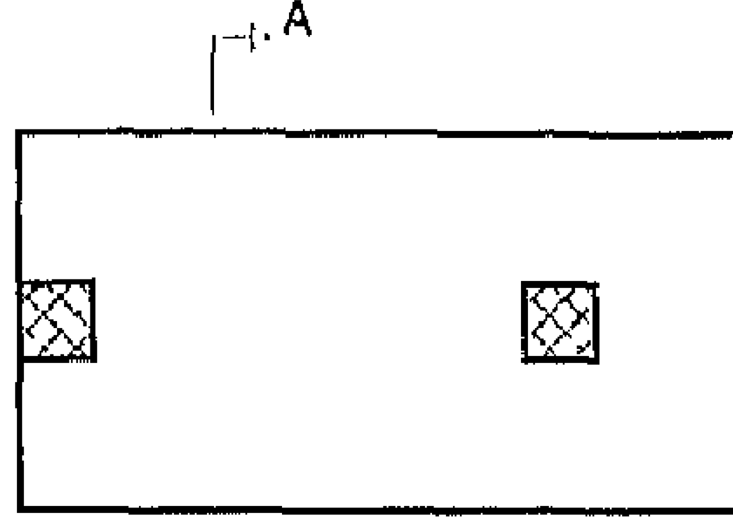
الفصل الرابع

القواعد المشتركة
COMBINED FOOTINGS

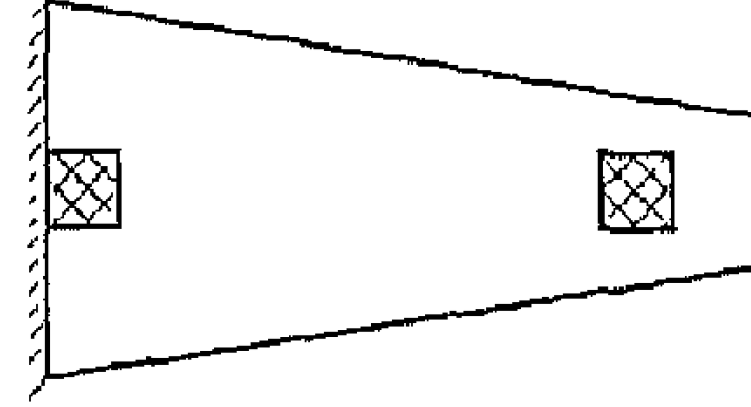
(٤,١) أنواع القواعد المشتركة وأسس تصميمها
Types of Combined Footings and Design Principles

في حال كون الأحمال على الأعمدة كبيرة أو تحمل التربة ضعيفا فإن التأسيس باستخدام القواعد المنعزلة قد يؤدي إلى تقارب أو تداخل القواعد في بعضها البعض ، بالإضافة إلى ذلك فإن قواعد الأعمدة الطرفية بجوار ملكية الغير تحتاج إلى ربط مع قواعد الأعمدة الداخلية كي لا تتعرض للدوران وزيادة إجهاد القص في التربة عن الحد المسموح. تستخدم القاعدة المشتركة كأساس لعمودين أو أكثر ، (انظر الشكل رقم ٤,١ c) وتكون هذه القاعدة إما بشكل بلاطة مستطيلة ، (انظر الشكل رقم ٤,١ a) أو بشكل شبه منحرف ، (انظر الشكل رقم ٤,١ b) ويمكن أن تكون هذه البلاطة ذات سماكة منتظمة ، (انظر الشكل رقم ٤,١ f) أو بلاطة مع جسر مقلوب (T Section) ، (انظر الشكل رقم ٤,١ g) حيث يمتاز هذا النوع الأخير بكون سماكة بلاطة الأساس أقل منها في حالة البلاطة ذات السماكة المنتظمة لكون الجسر المقلوب يكسب الأساس الجساءة الكافية ، ويمكن أن تكون القاعدة المشتركة على شكل قاعدتين منفصلتين يربط بينهما جسر رابط Strap Beam ، (انظر الشكل رقم ٤,١ e,h) ذلك لامتصاص العزم الناشئ في القاعدة الطرفية لكونها على حدود الملكية. يمكن أخيرا أن تكون القاعدة

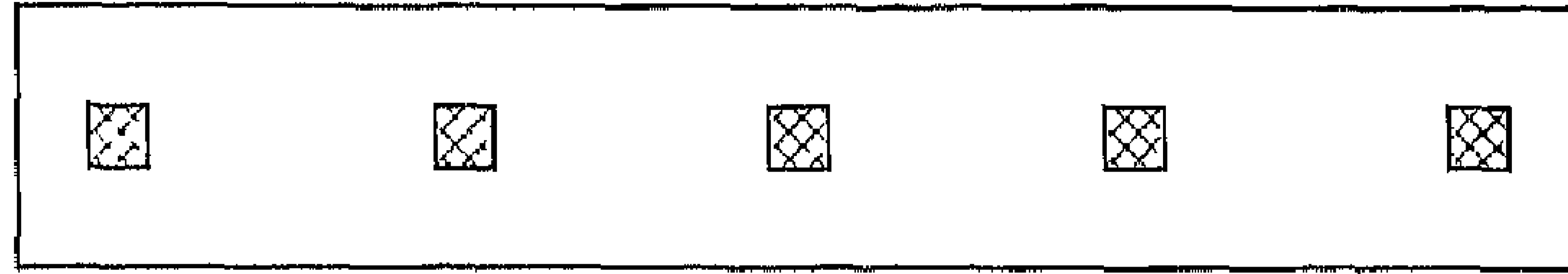
المشتركة أساسًا لحمل عدة أعمدة أو جدران لها محاور باتجاهين أو أكثر وتصمم بهذه الحالة على أنها حصيرة، (انظر الفصل الخامس).



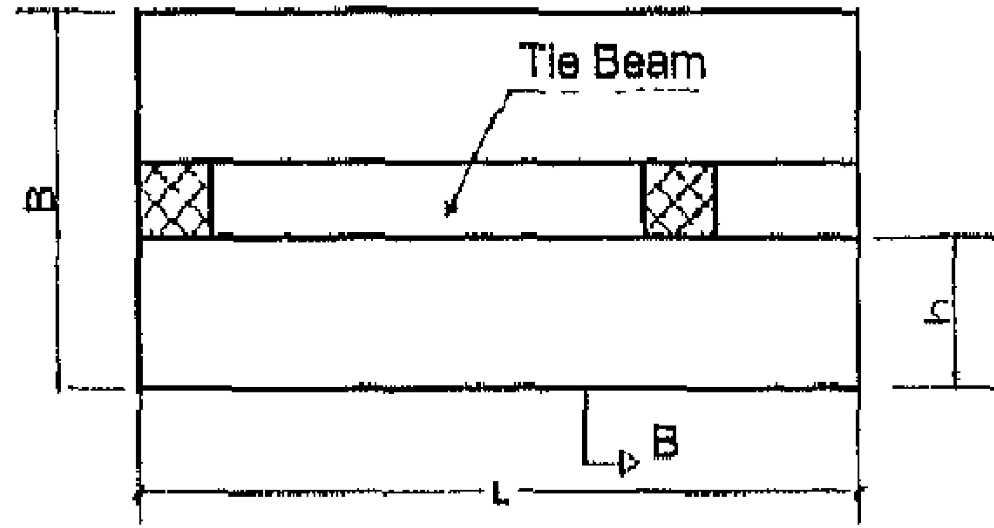
(a): plan of rectangular combined footing



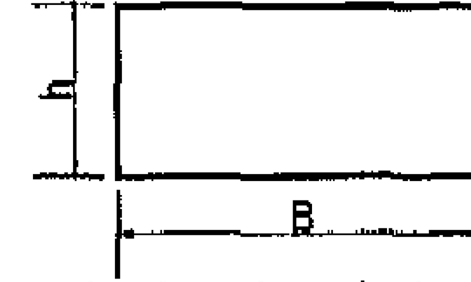
(b): plan of trapizoidal footing



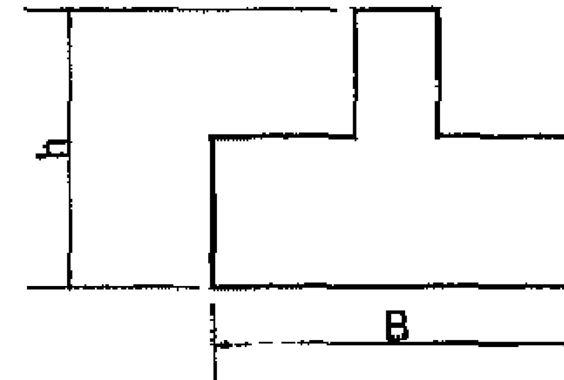
(c): plan of rectangular combined footing of more than 2 columns



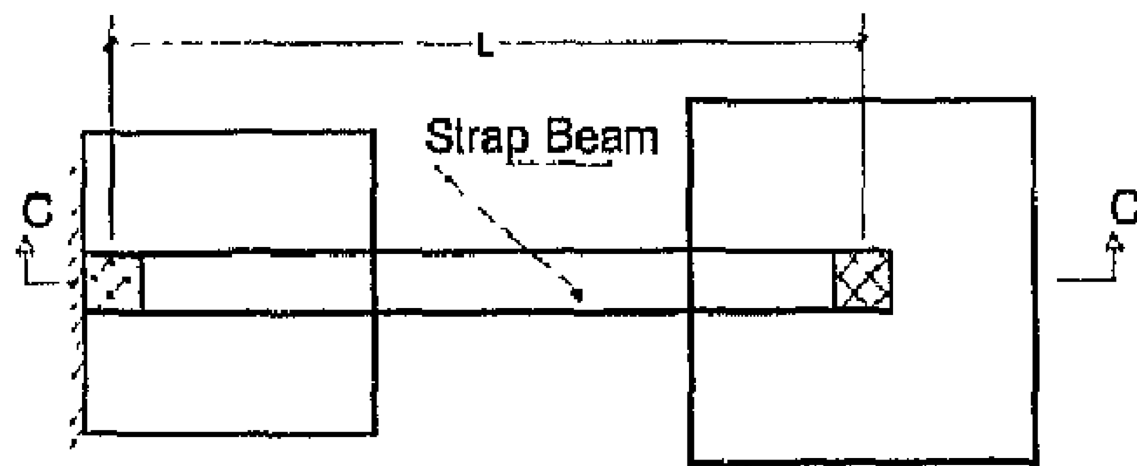
(d): plan of Inverted T footing



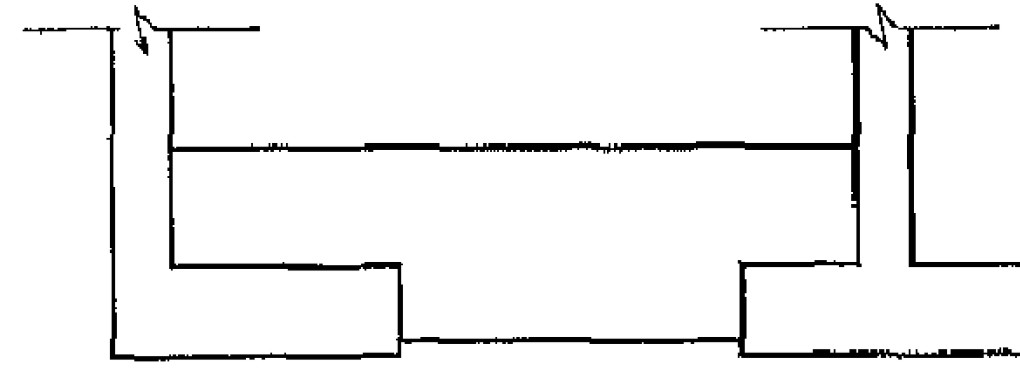
(f) Section A-A



(g): Section B-B



(e): Plan of strap beam footing



(h): Section C-C

الشكل رقم (٤,١). أنواع القواعد المشتركة: (a) قاعدة مستطيلة، (b) قاعدة بشكل شبه منحرف، (c) قاعدة مستطيلة لأكثر من عمودين، (d) قاعدة ذات مقطع على شكل T مقلوبة، (e) قاعدة مشتركة بجسر رابط، (f) المقطع A-A، (g) المقطع B-B، (h) المقطع C-C.

تصمم القاعدة المشتركة لعمودين أو أكثر باستخدام الطريقة الجاسئة، حيث يفترض توزع إجهادات التربة تحت القاعدة بشكل منتظم أو خطي، ومن ثم يتم حساب مخطط قوى القص ومخطط عزم الانحناء باعتبار مخطط الجسم الطليق Free body diagram للأساس مع أحمال الأعمدة من الأعلى ورد فعل الأساس من الأسفل. كذلك يمكن أن تصمم القاعدة المشتركة باستخدام طريقة العناصر المحدودة على اعتبار أن القاعدة مستندة على نوابض ذات صلابة تحدد وفقًا لمعامل رد فعل التربة K_s.

(٤,٢) تصميم القاعدة المشتركة مستطيلة الشكل

Design of Rectangular Combined Footing

قد يلجأ المهندس إلى دمج قاعدة عمود طرفي مع قاعدة عمود داخلي، وذلك لتلافي اللامركزية التي ستنشأ في حال اعتماد قاعدة منفصلة للعمود الطرفي، وقد يكون حل قاعدة مشتركة مستطيلة لعدة أعمدة مرغوبًا فيه لتلافي تداخل القواعد المنفصلة للأعمدة الداخلية. تصمم القواعد المشتركة المستطيلة وفق الطريقة الجاسئة أو وفق طريقة العناصر المحدودة. في حالة الطريقة الجاسئة، يفترض أن سماكة القاعدة كافية لتحقيق الجساءة المطلوبة، (انظر الفقرة ٣,٦,١) ويفترض أيضًا توزع إجهادات التربة تحت القاعدة بشكل منتظم في حال انطباق محصلة الاحمال على مركز ثقل الأساس أو بشكل خطي في حال خلاف ذلك. بعد تقرير مخطط توزيع الإجهاد تحت القاعدة المشتركة يتم رسم مخطط قوى القص ومخطط عزم الانحناء بناء على مخطط الجسم الطليق Free body diagram للأساس مع أحمال الأعمدة من الأعلى ورد فعل التربة من الأسفل. تجدر الإشارة إلى أنه يمكن أن يكون مقطع هذه القاعدة بارتفاع منتظم (مقطع مستطيل). الجدير بالذكر أن تصميم القاعدة المشتركة مستطيلة الشكل يشبه من حيث المبدأ تصميم الأساس الشريطي تحت صفوف الأعمدة، (انظر الفقرة ٣,٦,١).

الطريقة الجاسئة – حالة توزع الإجهادات بشكل منتظم

يكون توزع إجهاد ضغط التربة تحت الأساس بشكل موزع بانتظام في حالة كون مركز محصلة الأحمال Load Resultant منطبقة على مركز ثقل الأساس وهذا هو المفضل، (انظر الشكل رقم ٤,٢). بأخذ العزم حول مركز العمود P1 نجد أن

$$P2 \times S - R\,X = 0 \qquad (4.1)$$

رد الفعل يمثل محصلة ضغط التربة المنتظم ويساوي مجموع حملي العمودين

$$R = P1 + P2 \qquad (4.2)$$

بتعويض قيمة R في (4.1) نجد المسافة X

$$X = P2 \times S / (P1 + P2) \qquad (4.3)$$

يمكن الآن حساب نصف طول القاعدة (المسافة من طرف القاعدة إلى مركزها)

$$L/2 = (C1 + w/2 + X) \qquad (4.4)$$

وبالتالي يكون طول القاعدة

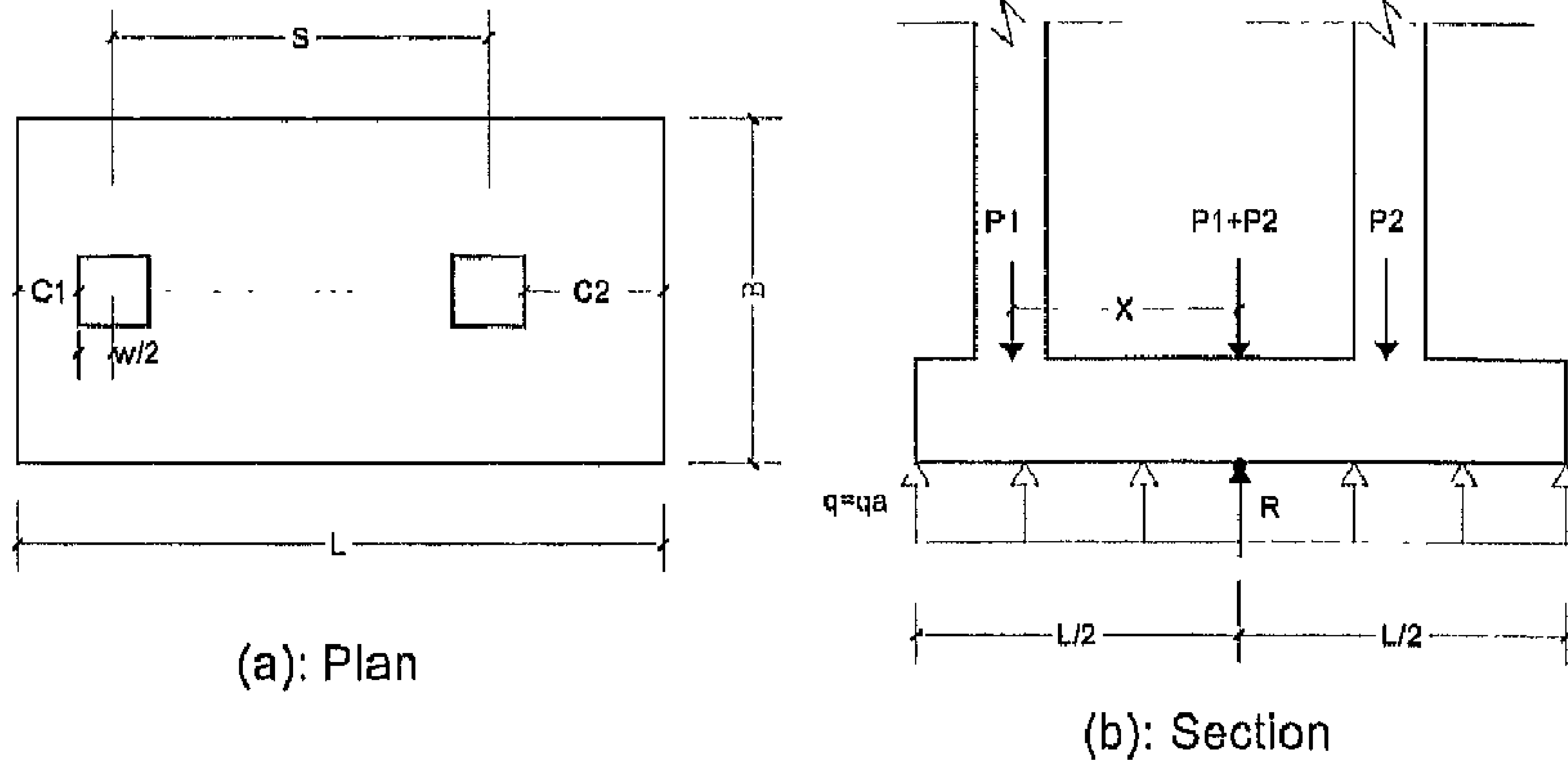
$$L = 2\,(C1 + w/2 + X) \qquad (4.5)$$

أما عرض القاعدة فيحسب وفق العلاقة

$$B = (P1+P2) / (q_a \times L) \qquad (4.6)$$

حيث إن:

q_a هو تحمل التربة المسموح.



الشكل رقم (٤,٢). توزع منتظم للإجهاد تحت قاعدة مشتركة مستطيلة الشكل: (a) مسقط، (b) مقطع.

الطريقة الجاسئة – حالة توزع الإجهادات بشكل خطي

في حالة عدم انطباق مركز محصلة الأحمال على مركز ثقل الأساس، (انظر الشكل رقم ٤,٣) يكون توزيع الإجهاد بشكل شبه خطي ويحسب وفق العلاقتين (4.8، 4.9) مع تعويض قيمة e من العلاقة (4.7) وأخذ "مجموع عزوم القوى حول مركز ثقل الأساس" ΣM.

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma P} \quad (4.7)$$

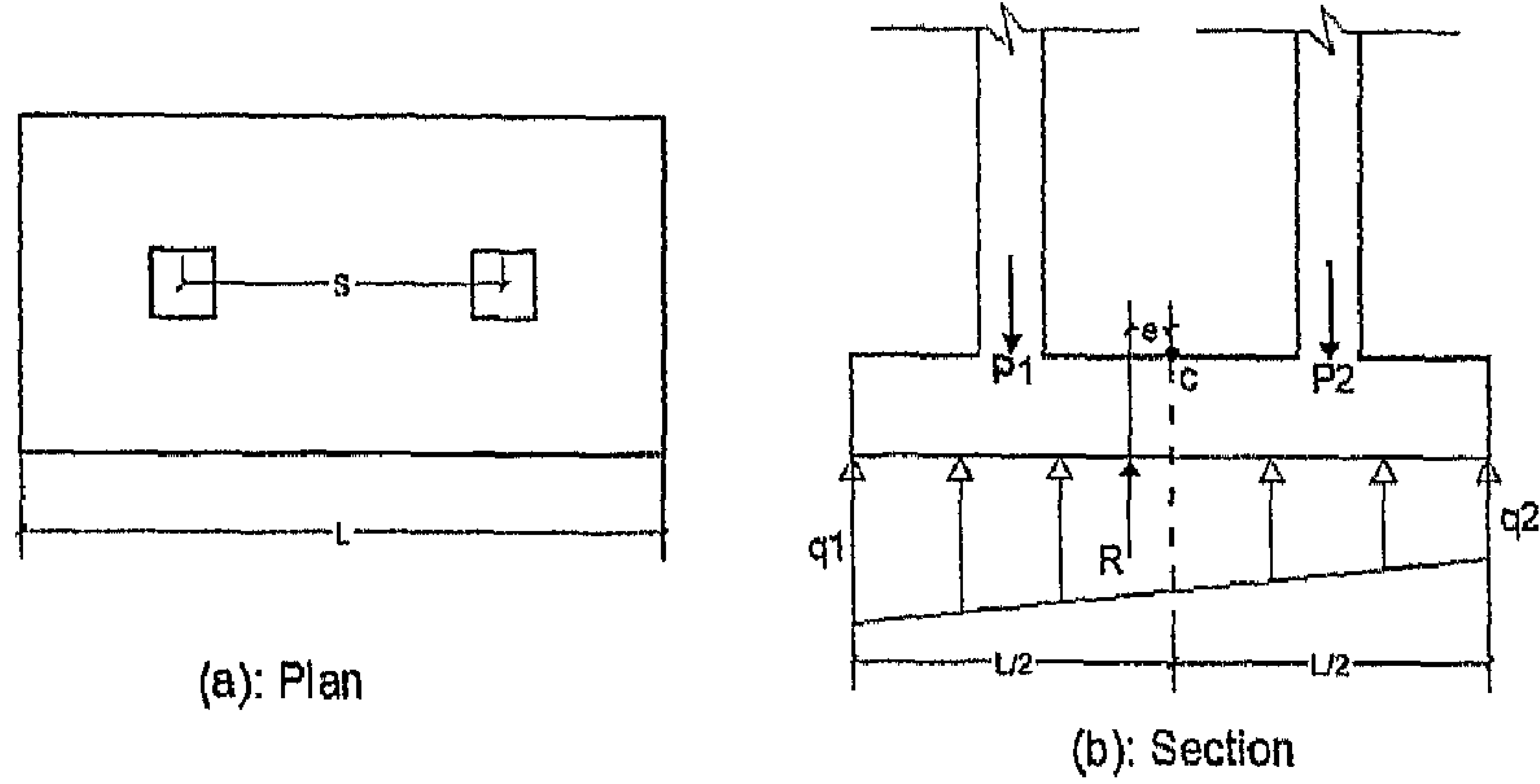
$$q1 = \frac{\Sigma P}{B \times L}(1 + 6e / L) \quad (4.8)$$

$$q2 = \frac{\Sigma P}{B \times L}(1 - 6e / L) \quad (4.9)$$

طريقة العناصر المحدودة

يتم مبدئيًا تحديد أبعاد القاعدة المشتركة وفق الأسس السابقة المذكورة في الطريقة الجاسئة، ومن ثم يتم تمثيلها بشكل مستو باستخدام عناصر صفائحية Shell elements

واعتبارها مستندة على نوابض باستخدام معامل رد فعل التربة K_s ويتم اعتبار العقد الملامسة للتربة ذات ثلاث درجات حرية (انتقال رأسي ودورانين في المستوي) ويفضل توزيع حمل كل من العمودين على مساحة تبرز عن مقطع العمود بمقدار 1/2 الارتفاع الفعال للقاعدة.



الشكل رقم (٤,٣). توزع خطي للإجهاد تحت قاعدة مشتركة مستطيلة الشكل: (a) مسقط، (b) مقطع.

حساب التسليح في حالة مقطع مستطيل

يتم تحقيق الأساس على القص غير المباشر ثنائي الاتجاه وذلك بحساب الإجهاد المماسي على بعد d/2 من وجه كل عمود لمقارنتها مع قيمة الإجهاد القصي المسموح للخرسانة، ويتم تحقيق الأساس أيضًا على القص وحيد الاتجاه بالمقطع الكائن على بعد d من وجه كل عمود، وكذلك يتم الحصول على قيمة عزم الانحناء بالاتجاهين لحساب التسليح السفلي والعلوي، (انظر المثال ٤,١) والشكلين a, b في الملحق C4 لأخذ فكرة عن التسليح.

حساب التسليح في حالة مقطع T مقلوب

يتم تصميم البلاطة بتحقيق الأساس على القص غير المباشر أحادي الاتجاه، وذلك بحساب الإجهاد المماسي على بعد d من طرف الكمرة لمقارنتها مع قيمة الإجهاد القصي المسموح للخرسانة، وكذلك يتم الحصول على قيمة عزم الانحناء بالاتجاهين

لحساب التسليح السفلي والعلوي. أما الجسر المقلوب فيتم تصميمه على القص والانحناء كأي كمرة، (انظر المثال ٣,٥) والملحق C4 لأخذ فكرة عن التسليح.

(٤,٣) تصميم القاعدة المشتركة على شكل شبه منحرف
Design of Trapezoidal Combined Footing

قد يلجأ المهندس لاستخدام قاعدة بشكل شبه منحرف في حال كون حمل العمود الطرفي أكبر من حمل العمود الوسطي، (انظر الشكل رقم ٤,٤). في هذه الحالة لا يمكن اتباع حل قاعدة مشتركة مستطيلة، (انظر الفقرة ٣,٢) لكون العمود الداخلي يقع على مسافة بعيدة بحيث إن مضاعفة المسافة بين مركز العمود الطرفي ذي الحمل الأكبر ومركز ثقل الأساس لن يؤدي إلى جعل العمود الداخلي ضمن الأساس المشترك. بشكل عام يتضمن تصميم القاعدة بشكل شبه منحرف وتنفيذها (قولبة وحديد) جهدا أكبر مما هو عليه في القاعدة المستطيلة؛ لذا لا يفضل اللجوء لهذا الحل في حال وجود بدائل أخرى. يتم افتراض قيمة L لطول القاعدة بشكل شبه منحرف واستنتاج البعدين الآخرين a', b' وفقاً للعلاقتين التاليتين:

علاقة حساب مساحة القاعدة لتحقيق تحمل التربة

$$A=\Sigma P/q_a \qquad (4.10)$$

علاقة مساحة الأساس (شبه منحرف)

$$A=\frac{a'+b'}{2}\,L \qquad (4.11)$$

علاقة حساب محصلة القوى

$$X = P2\times S / (P1 + P2) \qquad (4.12)$$

(4.13) $$X'=X+w/2+C1$$

حيث إن :

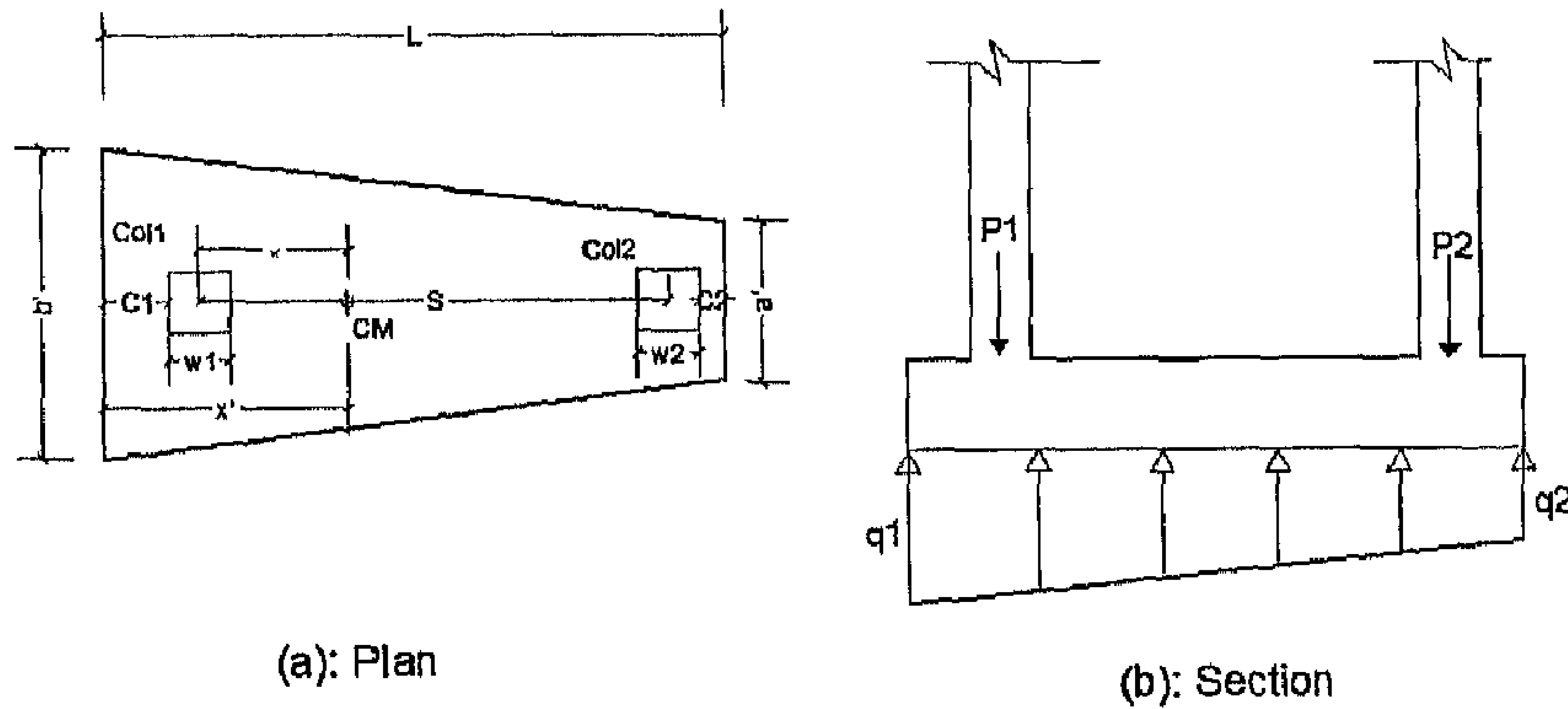
X المسافة بين مركز العمود الأول ومركز كتلة الأساس (نفسها مركز محصلة القوى)

X' المسافة بين طرف الأساس ومركز ثقله

علاقة حساب مركز ثقل الأساس (شبه منحرف)

(4.14) $$X'=(L/3)\times\frac{2a'+b'}{a'+b'}$$

باعتبار العلاقتين (4.11, 4.14) حيث جميع المتحولات معلومة في هاتين العلاقتين ما عدا a', b' فيمكن حلهما كعلاقتين خطيتين بمجهولين واستنتاج قيمتي a', b'. يجب الانتباه إلى الحالات التالية :



الشكل رقم (٤,٤). قاعدة مشتركة بشكل شبه منحرف: (a) مسقط القاعدة، (b) مقطع رأسي في القاعدة.

a'=0 → Footing is triangle, X'=L/3 (الأساس بشكل مثلث)

a'=b' → Footing ir rectangle, X'=L/2 (الأساس مستطيل)

الأساس شبه منحرف $L/3 < X' < L/2$

الطريقة الجاسئة – حالة توزع الإجهادات بشكل خطي

يتم رسم مخطط الجسم الطليق للأساس واعتباره مقررًا ستاتيكيًا (أحمال من الأعلى ورد فعل التربة من الأسفل)، يكون توزع إجهاد ضغط التربة تحت الأساس بشكل خطي نظرًا لاختلاف العرض على طول الأساس المشترك، وبالتالي يكون مخطط الجهد القاطع من الدرجة الثانية ومخطط العزم من الدرجة الثالثة.

طريقة العناصر المحدودة

يتم مبدئيًا تحديد أبعاد القاعدة المشتركة وفق الأسس السابقة المذكورة في الطريقة الجاسئة، ومن ثم يتم تمثيلها بشكل مستو باستخدام عناصر رباعية صفائحية Shell elements واعتبارها مستندة على نوابض باستخدام معامل رد فعل التربة K_s ويتم اعتبار العقد الملامسة للتربة ذات ثلاث درجات حرية (انتقال رأسي ودورانين في المستوي) وتمثيل الأعمدة ويفضل توزيع حمولتها على مساحة تبرز عن مقطع العمود بمقدار 1/2 الارتفاع الفعال للقاعدة.

تصميم القاعدة

يتم تحقيق القص ثنائي الاتجاه على بعد d/2 من وجه كل عمود لمقارنتها مع قيمة الإجهاد القصي المسموح للخرسانة، وكذلك تحقيق القص أحادي الاتجاه على بعد d من وجه كل عمود. بنتيجة التحليل الإنشائي، يتم الحصول على قيمة عزم الانحناء بالاتجاهين لحساب التسليح السفلي والعلوي، (انظر المثال (٤,٢) والشكلين c, d في الملحق C4 لأخذ فكرة عن التسليح).

(٤,٤) تصميم القاعدة المشتركة لعمودين باستخدام جسر رابط
Design of Combined Footing of Two Columns with a Strap Beam

في حالة وجود عمود طرفي يكون الأساس (قاعدة العمود) مع العمود على شكل L أو رجل بطة وتسمى قاعدة العمود بالقاعدة الطرفية. وفي هذه الحالة يكون حمل العمود غير مركزي ويضطر المهندس إلى ربط هذا العمود الطرفي مع عمود داخلي باستخدام جسر رابط Strap beam وذلك لنقل وامتصاص العزم الذي نشأ بسبب اللامركزية، حيث بدون هذا الجسر الرابط لا يمكن على الغالب تحقيق إجهاد التربة تحت الأساس وفي حال تحقيقه تكون القاعدة كبيرة ذات أبعاد غير اقتصادية، (انظر المثال ٢,٨)، كما أن الجسر الرابط يعمل على إلغاء أو تقليل دوران القاعدة المنحرفة، (انظر الشكل رقم ٤,٥).

الطريقة الجاسئة

يتم تصميم "القاعدة المشتركة لعمودين باستخدام جسر رابط" باعتبار توزع منتظم للإجهاد تحت كل من القاعدتين، ويتم اعتبار وتنفيذ الجسر الرابط بمستو أعلى من مستوى القواعد كي لا يتعرض إلى إجهاد من التربة ويفترض الجسر بالحسابات بدون وزن. كذلك يجب أن يكون إجهاد التربة في القاعدتين متساوٍ تقريبًا وألا يكون هنالك تفاوت كبير في قيمتي عرض القاعدتين لتقليل الهبوط التفاضلي. أخيرًا يجب أن تكون جساءة الجسر الرابط ضعف جساءة القاعدة لتقليل دوران القاعدة الطرفية أي:

$$I_{strap}/I_{footing} > 2 \qquad (4.15)$$

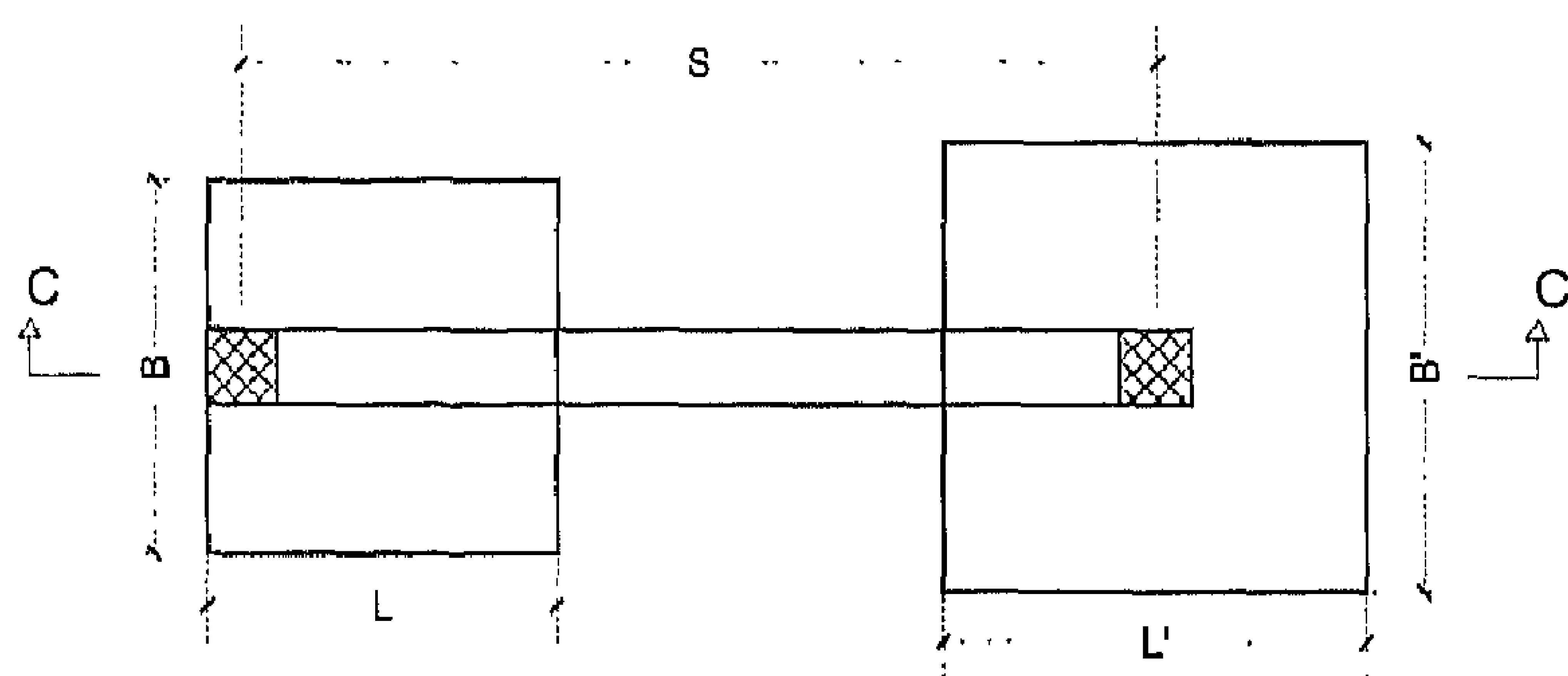
يتم تحديد رد الفعل R1 بأخذ العزوم حول العمود P2

$$R1 = P1\ S/S1 \qquad (4.16)$$

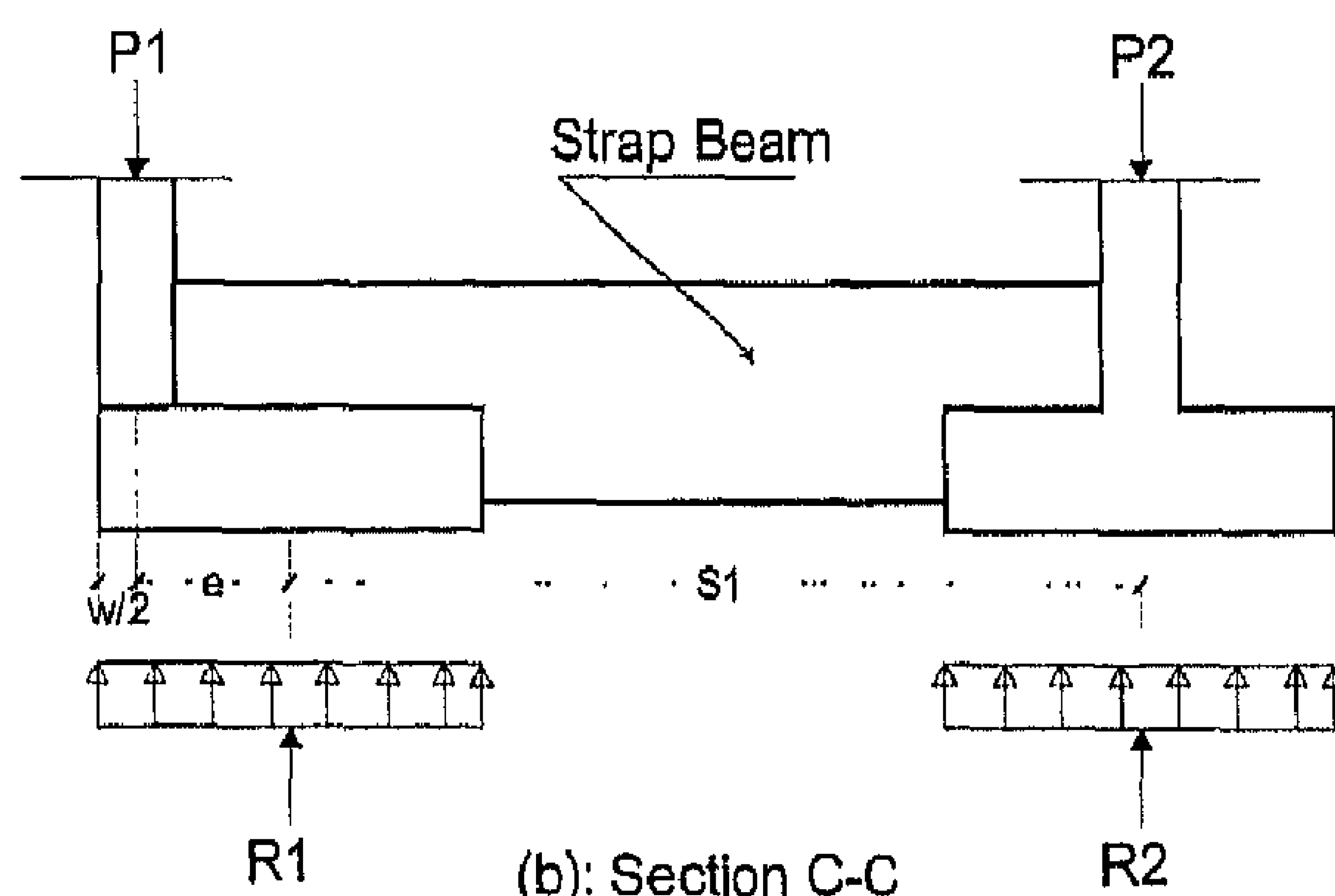
وبالتالي نستنتج رد الفعل R2 بمعادلة توازن القوى الرأسية

$$R2 = P1 + P2 - R1 \quad (4.17)$$

بفرض قيمة ما لـ e نستنتج طول قاعدة العمود P1



(a): Plan of Strap beam footing



(b): Section C-C

الشكل رقم (٤,٥). قاعدة مشتركة باستخدام جسر رابط: (a) مسقط القاعدة، (b) المقطع C-C.

$$L = 2\,(w/2 + e) \quad (4.18)$$

ومن ثم يتم حساب عرض القاعدة وفق العلاقة

$$B = P1 / (q_a L) \quad (4.19)$$

بنفس الطريقة يتم حساب أبعاد قاعدة العمود P2 بافتراض قيمة معينة لطول القاعدة 'L مثلا ومن ثم استنتاج 'B بتحقيق إجهاد ضغط التربة. بعد تحديد أبعاد القاعدتين يتم رسم مخطط القص وعزم الانحناء باعتبار مخطط الجسم الطليق للأساس المقرر ستاتيكيًا، أي رد الفعل معلوم والأحمال معلومة، (انظر الشكل رقم ٤,٥ b).

طريقة العناصر المحدودة

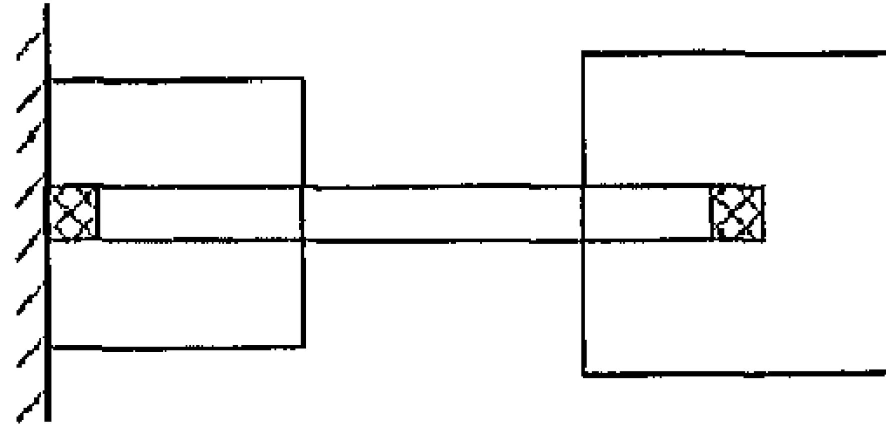
يتم مبدئيًا تحديد أبعاد كل من القاعدتين والجسر الرابط وفق الأسس السابقة المذكورة في الطريقة الجاسئة، ومن ثم يتم تمثيل القاعدتين بشكل مستو باستخدام عناصر صفائحية Shell elements وكذلك الجسر الرابط باستخدام عناصر خطية Frame elements واعتبار أن القاعدتين مستندتان على نوابض باستخدام معامل رد فعل التربة K_s أما الجسر الرابط فلا يستند على نوابض بجزئه الوسطي، ويتم اعتبار العقد الملامسة للتربة ذات ثلاث درجات حرية (انتقال رأسي ودورنان في المستوي) ويفضل توزيع حمل كل من العمودين على مساحة تبرز عن مقطع العمود بمقدار 1/2 الارتفاع الفعال للقاعدة. بعد التحليل الإنشائي يمكن استنتاج هبوط العقد تحت الخط الوسطي لكل قاعدة، حيث يجب أن يكون متماثلاً تقريبًا، وفي حال كون توزعه خطيا تكون جساءة الجسر الرابط غير كافية ويجب زيادتها.

حساب التسليح

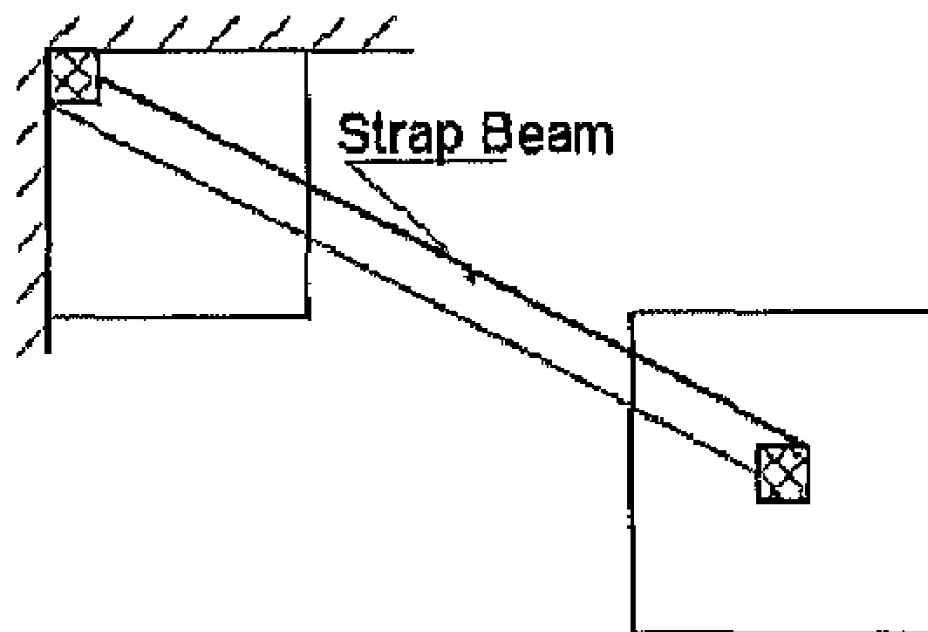
يتم تصميم القاعدة الطرفية والقاعدة الوسطية بنفس طريقة تصميم قاعدة منعزلة في الفصل الثاني، أما الجسر الرابط فتتم معاملته ككمرة من حيث حسابه على القص والانحناء، (انظر المثال (٤,٣) والملحق C5 لأخذ فكرة عن التسليح).

(٤,٤,١) حالات القواعد ذات الجسر الرابط Cases of Strap Beam Footings

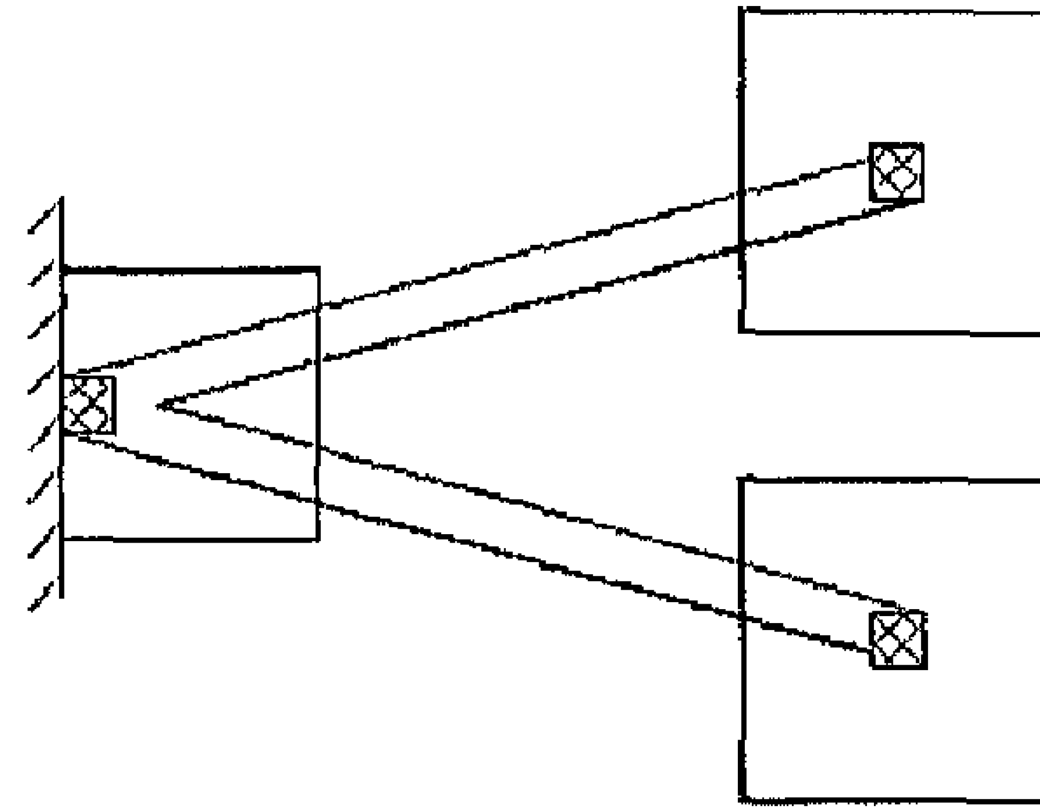
يبين الشكل رقم (٤,٦) عدة حالات لربط قاعدة طرفية بقاعدة وسطية حيث يمكن ربط قاعدة طرفية بقاعدة وسطية باستخدام جسر رابط أفقي (a)، ويمكن أيضًا ربط قاعدة ركنية بقاعدة وسطية باستخدام جسر رابط قطري (b) وأخيرًا يمكن ربط قاعدة طرفية بقاعدتين وسطيتين (c) حيث يمكن اللجوء إلى الربط القطري بعمود أو أكثر في حال الضرورة. إن ربط القواعد الطرفية والركنية بالقواعد الوسطية يؤمن نظام تأسيس أكثر أمانًا من الاعتماد على القاعدة الطرفية بمفردها لنقل القوة المحورية والعزم، (انظر الفقرة ٢,٥) كما أن أبعاد القاعدة المربوطة بجسر أكثر منطقية، وربما أفضل من الناحية الاقتصادية.



(a): Horizental strap



(b): Diagonal strap



(c): Two diagonal strap

الشكل رقم (٤,٦). حالات ربط قاعدة طرفية بقاعدة وسطية: (a) جسر رابط أفقي، (b) جسر رابط قطري، (c) جسرين رابطين.

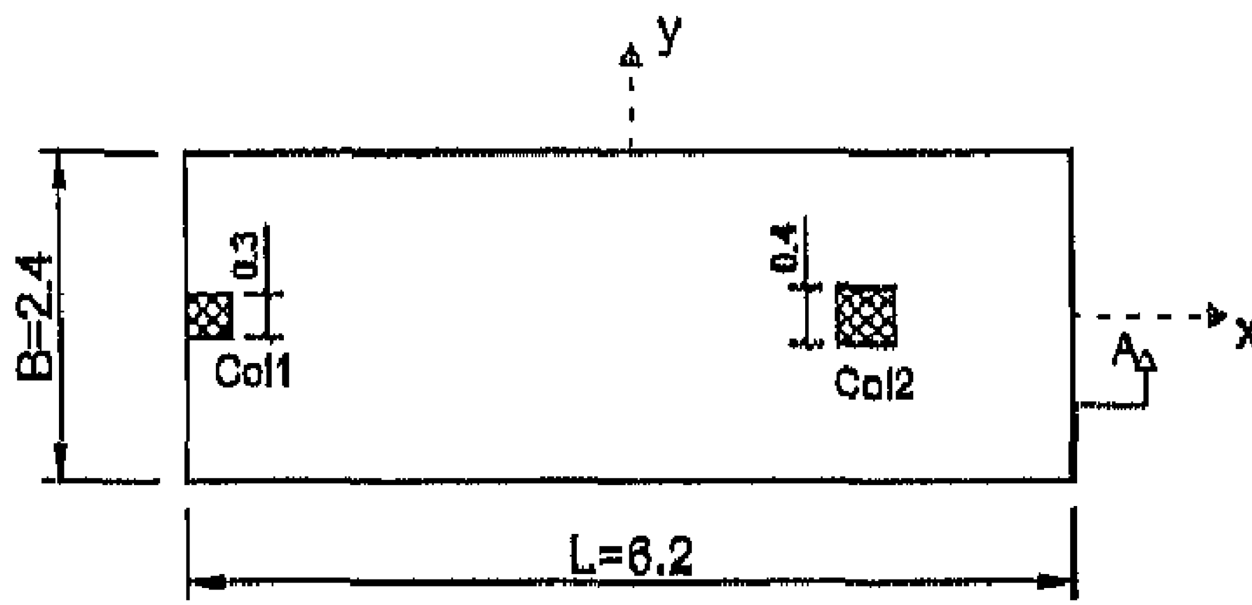
(٤,٥) أمثلة تطبيقية
Application Examples

المثال (٤,١): قاعدة مشتركة مستطيلة الشكل Rectangular Combined Footing

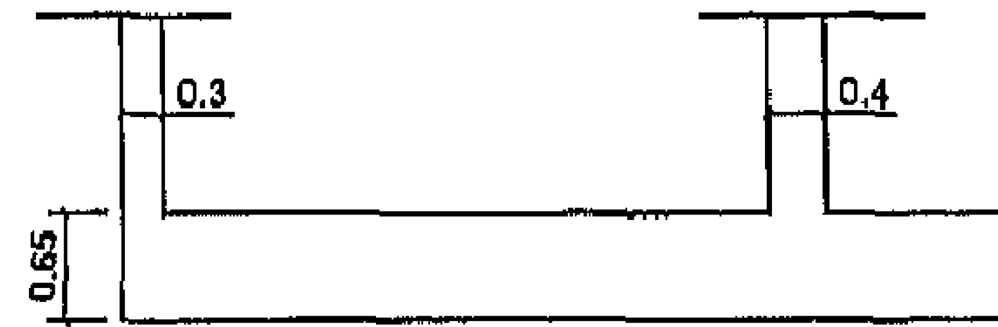
يطلب تصميم قاعدة مشتركة لعمودين طرفي و آخر وسطي مع افتراض توزع الإجهادات بشكل منتظم مع العلم أن الأحمال (الميتة + الحية) التي تنقلها الأعمدة إلى الأساس موضحة في الجدول رقم (٤,١) وأن تحمل التربة المسموح الصافي q_{an}=113 KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c=30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y=414 MPa ، (انظر الشكل رقم ٤,٧).

الجدول رقم (٤,١). أحمال الأعمدة (KN, m).

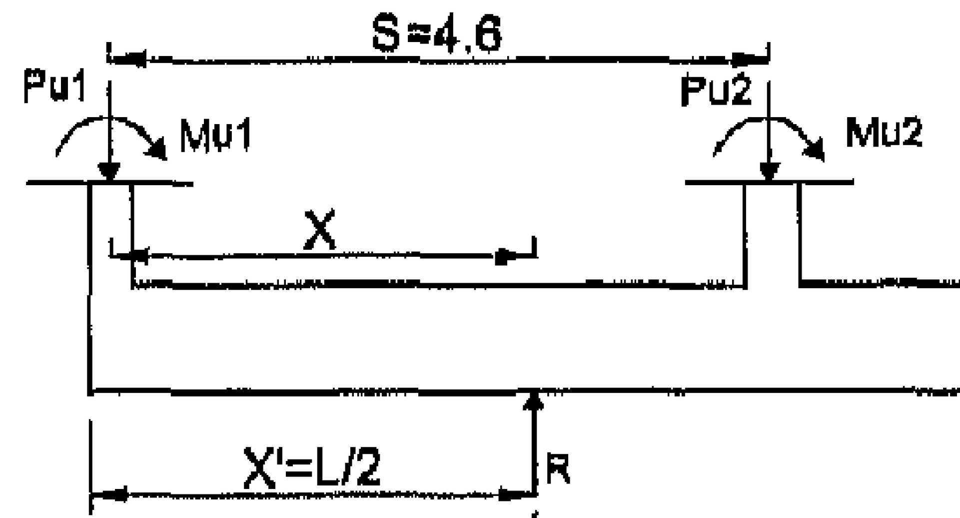
Col No	P_D	P_L	M_D	M_L	$P=P_D+P_L$	$M=M_D+M_L$	$P_u=1.2P_D+1.6P_L$	$M_u=1.2M_D+1.6M_L$
1	420	200	32	32	620	64	824	89.6
2	700	300	52	40	1000	92	1320	126.4
Σ					1620		2144	



(a): plan of rectangular combined footing



(b): Section A-A



(c): Column Loads & reaction resultant

الشكل رقم (٤,٧). قاعدة مشتركة مستطيلة الشكل: (a) مسقط القاعدة، (b) المقطع A-A، (c) مخطط الأحمال ورد الفعل.

الغاية من المثال

تصميم قاعدة مشتركة مستطيلة لعمود طرفي وآخر وسطي وفق الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة ومقارنة النتائج ، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE ، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

الطريقة الجاسئة (النموذج التحليلي M1)

١- حساب أبعاد الأساس (الشكل رقم ٤,٨)

يتم تحقيق عدم تجاوز تحمل التربة وذلك بالتعامل مع الأحمال القصوى مباشرة

$$f1=\frac{\Sigma P_u}{\Sigma P}=\frac{2144}{1620}=1.32$$

$$q_u = f1 \times q_{an} = 1.32 \times 113 = 149.2 \text{ KN/m}^2$$

بأخذ العزوم حول محور العمود الأول

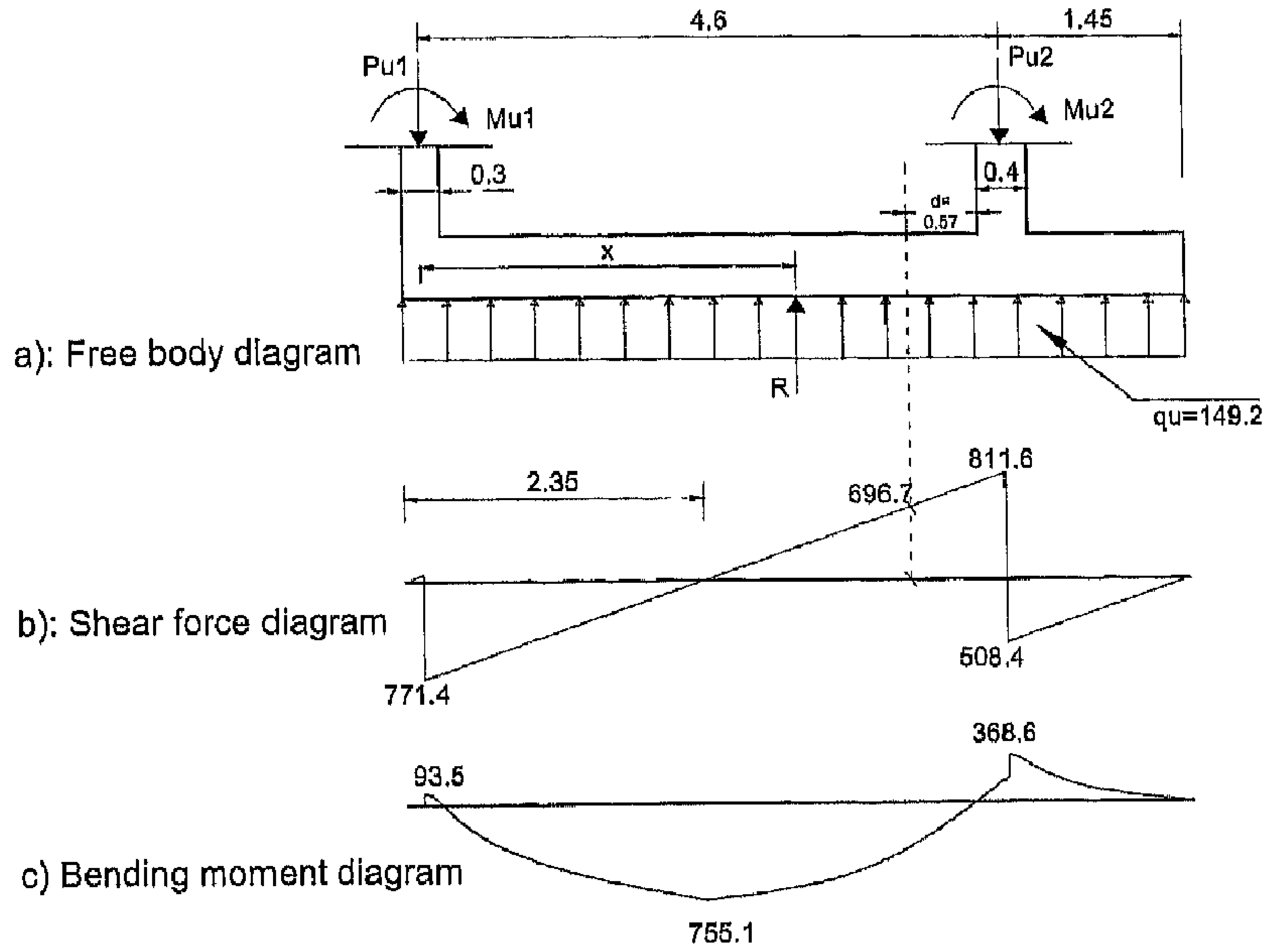
$$M_u 1 + M_u 2 + S \times P_u 2 = R \times X$$

$$X = (89.6+126.4+4.6 \times 1320)/2144 = 2.93 \text{ m}$$

$$X' = (0.15+2.93) = 3.08 \text{ m}$$

وبذلك يكون طول الأساس

$$L = 2 \times 3.08 = 6.16 \text{ m}$$



الشكل رقم (٤,٨). تحليل القاعدة المشتركة: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

عرض الأساس

$$q_u = P/(L \times B) \rightarrow B = P/(q_u \times L)$$

$$B = 2144/(149.2 \times 6.16) = 2.33 \text{ m}$$

يتم تدوير قيمتي الطول والعرض وفق ما يلي ، وذلك من أجل سهولة التنفيذ ولإدخال فرق وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم

$$L = 6.2 \text{ m}, B = 2.35 \text{ m}$$

٢- رسم مخطط قوة القص وعزم الانحناء

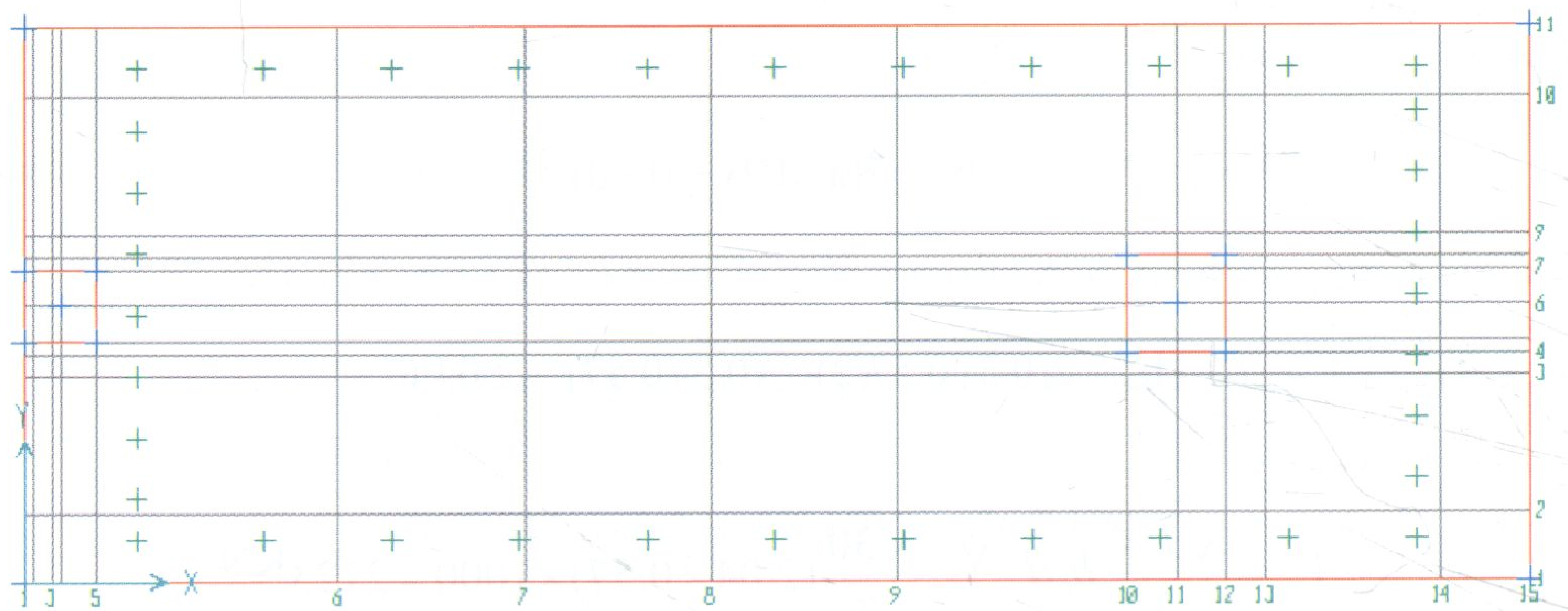
يتم إنشاء مخطط الجسم الطليق للقاعدة حيث أحمال الأعمدة من الأعلى ورد الفعل المنتظم من الأسفل، (انظر الشكل رقم ٤,٨ a)، وبناء عليه يتم رسم مخطط قوى القص ومخطط عزم الانحناء كما هو موضح في الشكل رقم (٤,٨ b,c).

طريقة العناصر المحدودة (النموذج التحليلي M2)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing أما الأعمدة فنوعها Column ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد بمعرفة معامل رد فعل التربة :

$$K_s = 120 \times 113 = 13560 \text{ KN/m}^3$$

يتم إدخال الحمل المحوري والعزم لكل من العمودين بتعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null، (انظر الشكل رقم ٤,٩) الذي يظهر النموذج التحليلي M2 للأساس.



الشكل رقم (٤,٩). النموذج التحليلي M2 للأساس.

النتائج

يبين الجدول رقم (٤,٢) قيمة العزم السالب الأعظمي والعزم الموجب الأعظمي في كل من النموذجين التحليليين M1, M2 وذلك بالاتجاه x ويظهر الجدول أيضا تقاربا بين نتائج الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة في هذا المثال.

الجدول رقم (٤,٢). جدول مقارنة العزوم في النموذجين التحليليين.

Model No.	Max BM- KN.m/m	Max BM+ KN.m/m	Notes
M1	755.1/2.35=321.3	368.6/2.35=156.9	Footing width=2.35
M2	177/0.5775=306.5	120/0.5775=207.8	1-Strip width =0.5775 2-BM+ is taken at column face

التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن ارتفاع الأساس h = 0.65 m والارتفاع الفعال d = 0.57 m

العمود الأول

$$V_u = P_u - (a+d/2)(b+d)q_u$$

$$V_u = 824 - (0.3 + 0.57/2)(0.3+0.57)149.2 = 748.1 \text{ KN}$$

$$b_o = 2(a+d/2) + (b+d)$$

$$b_o = 2(0.3+0.57/2) + (0.3+0.57) = 2.04 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d \text{ , } V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(2.04 \times 0.57) \times 1000 = 2123 \text{ KN}$$

$$V_u = 748.1 < 0.75 \times 2123 = 1592.3 \text{ KN (Ok.)}$$

العمود الثاني

$$V_u=P_u-(a+d)(b+d)q_u$$

$$V_u=1320-(0.4+0.57)(0.4+0.57)149.2=1179.6\ KN$$

$$b_o=2(a+d)+2(b+d)$$

$$b_o=2(0.4+0.57)+2(0.4+0.57)=3.88\ m$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{3}b_0d$$

$$V_c=\frac{\sqrt{30}}{3}(3.88\times0.57)\times1000=4038\ KN$$

$$V_u=1179.6<0.75\times4038=3028.5\ KN\ (Ok.)$$

التحقيق على القص أحادي الاتجاه

بتدقيق القص أحادي الاتجاه على بعد d من وجه العمود نجد أن جهد القص بالاتجاه x على بعد d من طرف العمود الثاني Col2 هو الحالة الحرجة، (انظر الشكل رقم ٤,٨ b). يتم استنتاج قيمة جهد القص في هذا المقطع وفق ما يلي

$$V_u=811.6-(0.2+0.57)149.2=696.7\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd\ ،\ V_c=\frac{\sqrt{30}}{6}(2.35\times0.57)\times1000=1222.8\ KN$$

$V_u=696.7<0.75\times1222.8=917.1$ KN (Ok.)

حساب التسليح (وفق النموذج M2)

التسليح العلوي (الاتجاه x)

$M_u = 306.5$ KN.m/m

$\rho=0.0026$, (ϕ 16@125mm)

التسليح السفلي (الاتجاه x)

$M_u = 207.8$ KN.m/m

$\rho=0.002$ (ϕ 16@125mm)

التسليح السفلي (الاتجاه y)

$M_u = 131$ KN.m/m

$\rho=\rho_{min}= 0.0018$ (ϕ 14@150mm)

مخطط التسليح : انظر الملحق C4.

المثال (٤,٢): أساس مشترك لعمودين بشكل شبه منحرف

Trapezoidal Combined Footing for Two Columns

يطلب تصميم قاعدة مشتركة لعمودين بشكل شبه منحرف مع العلم أن الأحمال التي تنقلها الأعمدة إلى الأساس موضحة في الجدول رقم (٤,٣) وأن تحمل

التربة المسموح الصافي $q_{an} = 216$ KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 35$ MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y = 414$ MPa ، (انظر الشكل رقم ٤,١٠).

الغاية من المثال

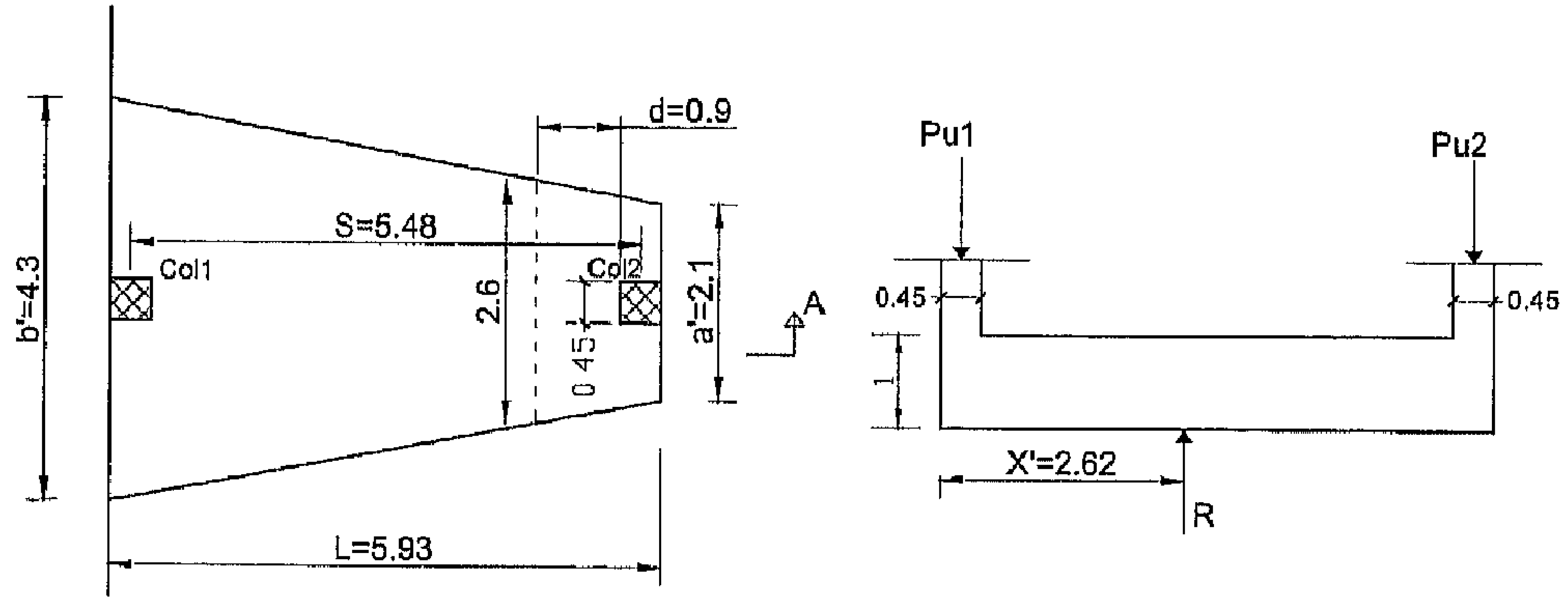
تصميم قاعدة مشتركة بشكل شبه منحرف وفق الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة ومقارنة النتائج ، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE ، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

الجدول رقم (٤,٣). أحمال الأعمدة (KN).

Col No	D	L	P=D + L	P_u =1.2D + 1.6L
1	1460	822	2282	3067
2	1092	670	1762	2382
Σ			4044	5449



(a): plan of trapezoidal combined footing (b): Section A-A

الشكل رقم (٤,١٠). قاعدة مشتركة بشكل شبه منحرف: (a) مسقط القاعدة، (b) المقطع A-A.

الطريقة الجاسئة (النموذج التحليلي M1)

١- حساب أبعاد الأساس (الشكل رقم ٤,١١)

يتم إيجاد تحمل التربة المصعد وذلك للتعامل مع الأحمال المصعدة مباشرة

$$f1 = \frac{\Sigma P_u}{\Sigma P} = \frac{5449}{4044} = 1.347$$

$$q_u = 1.347 \times 216 = 291 \text{ KN/m2}$$

بأخذ العزوم حول محور العمود الأول

$$S \times P_{u2} = R \times X$$

$$X = (5.48 \times 2382)/5449 = 2.396 \text{ m}$$

$$X' = 0.225 + 2.396 = 2.621 \text{ m}$$

نتأكد من تحقق شرط الأساس بشكل شبه منحرف

$$X' > L/3 = 5.93/3 = 1.98 \text{ m (Ok.)}$$

$$X' < L/2 = 5.93/2 = 2.965 \text{ m (Ok.)}$$

مساحة الأساس المطلوبة لتحقيق تحمل التربة

$$A = P_u/q_u = 544.9/29 = 18.8 \text{ m}^2$$

مساحة الأساس (شبه منحرف)

$$A=(a'+b')\times L/2$$

مسافة مركز ثقل الأساس عن طرف القاعدة (إلى اليسار)

$$X'=\frac{L}{3}\times\frac{2a'+b'}{a'+b'}=2.965$$

بحل العلاقتين الخطيتين السابقتين اللتين تحتويان على المجهولين a', b; نجد أن

$$a'=2.1\ m,\ b'=4.3\ m$$

تم تدوير قيمة الطول العرض والطول، وذلك من أجل سهولة التنفيذ ولإدخال فرق وزن خرسانة الأساس عن تربة الردم.

٢- رسم مخطط القص وعزم الانحناء

يتم إنشاء مخطط الجسم الطليق للقاعدة حيث أحمال الأعمدة من الأعلى ورد الفعل الخطي من الأسفل، (انظر الشكل رقم ٤,١١ a)، بالنسبة لطرف القاعدة الأعرض يكون رد الفعل

$$q_{u1}= 291\times4.3= 1251\ KN/m$$

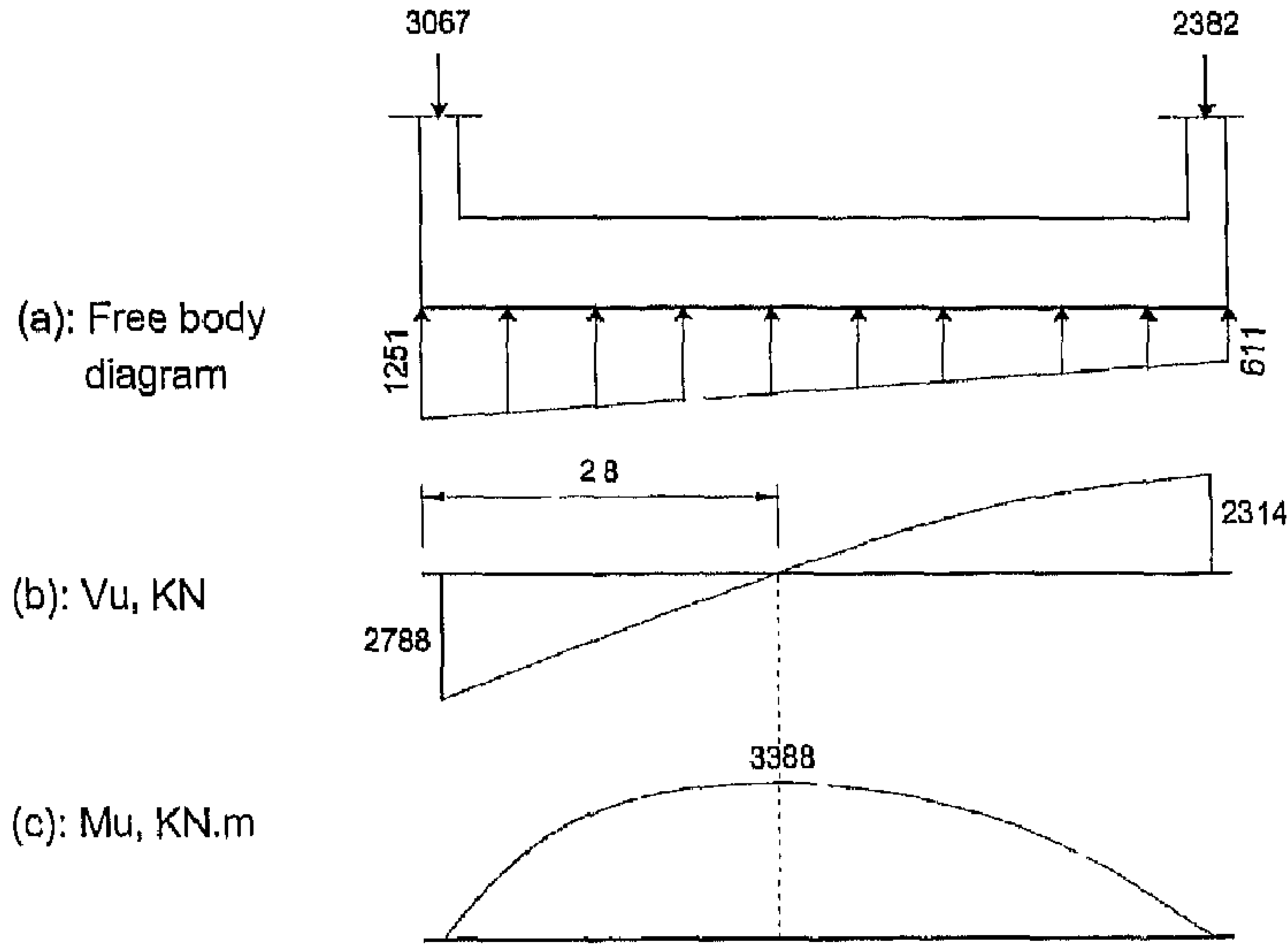
بالنسبة لطرف القاعدة الأقل عرضا يكون رد الفعل

$$q_{u2}= 291\times2.1= 611\ KN/m$$

وتكون معادلة رد الفعل

$$q_u=1251 - [(1251-611)/5.93]\ x$$

$$q_u=1251-107.9\ x$$



الشكل رقم (٤,١١). تحليل القاعدة المشتركة: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

وبناء عليه يتم رسم مخطط قوى القص (منحني من الدرجة الثانية)

$$V_u = \int_0^x q\,dx$$

ومخطط عزم الانحناء (منحني من الدرجة الثالثة) كما هو موضح في الشكل رقم (٤,١١ b,c)

$$M_u = \int_0^x V\,dx$$

من أجل تفاصيل إجراء التكاملين السابقين ورسم مخططي قوى القص وعزم الانحناء يمكن مراجعة الملحق A3. أما بالاتجاه y فيمكن حساب العزم مباشرة من العلاقة $q_u \times L^2/2$ ، على اعتبار الإجهاد الأعظمي على طرف الأساس بجوار العمود الأول Col1 يكون العزم الأقصى

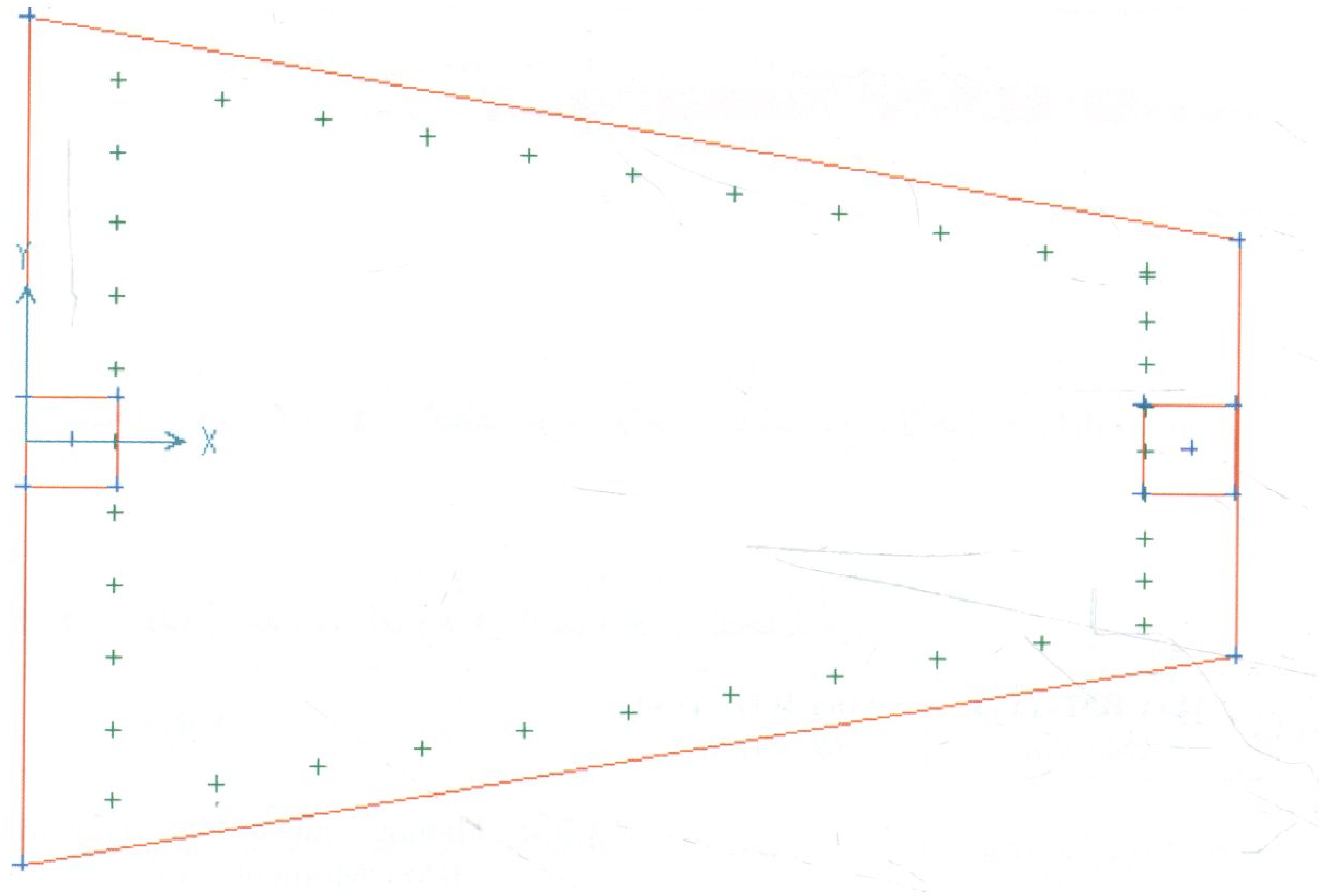
$$M_u=291\times1.925^2/2=539\ KN.m/m$$

طريقة العناصر المحدودة (النموذج التحليلي M2)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing أما الأعمدة فنوعها Column ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقًا لمعامل رد فعل التربة

$$K_s = 120 \times 216 = 25920\ KN/m^3$$

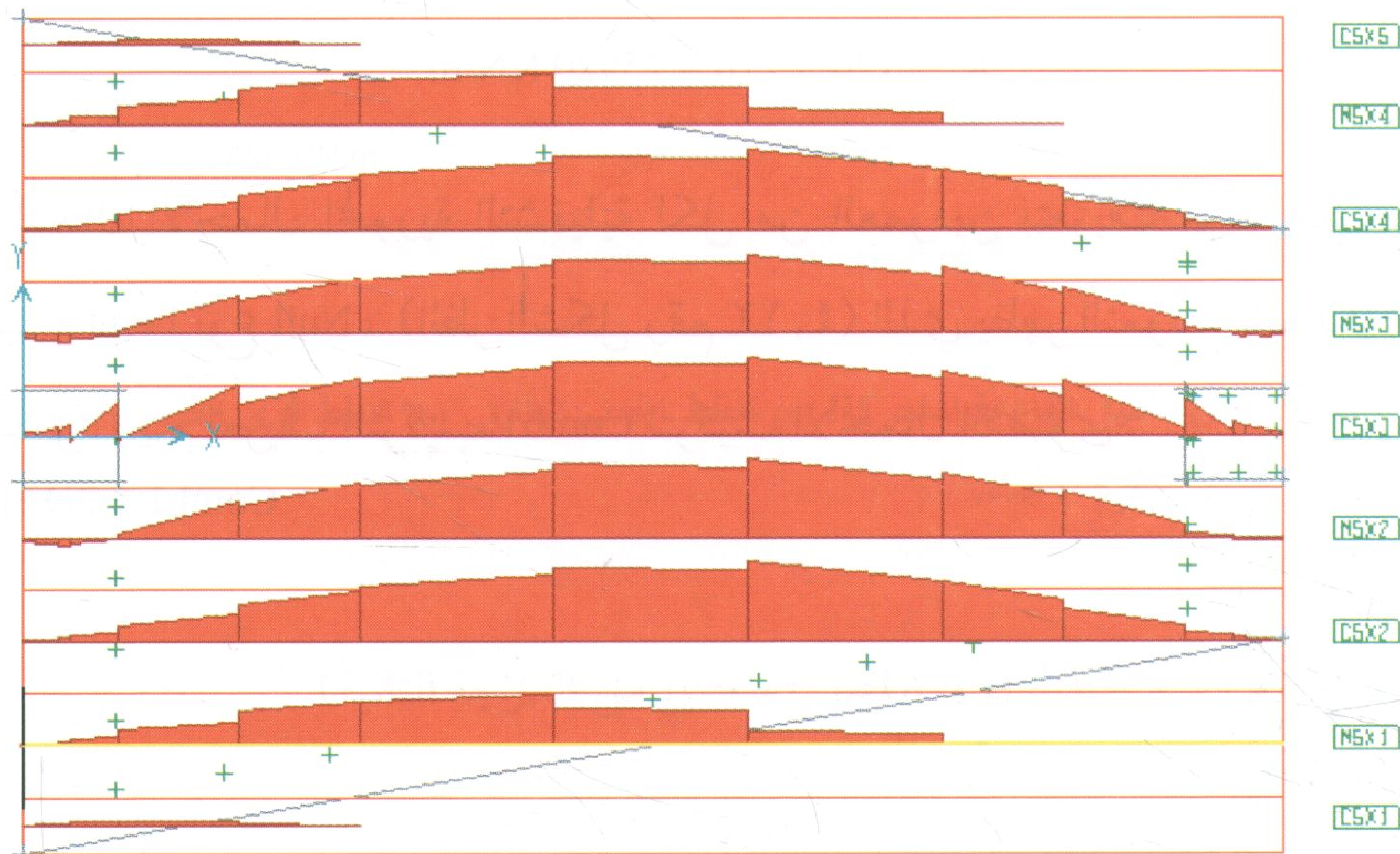
يتم إدخال الأحمال المحورية التشغيلية لكل من العمودين بتعريف مركز كل منهما باعتباره Point نوع Null، (انظر الشكل رقم ٤,١٢) الذي يظهر النموذج التحليلي M2 للأساس. ويتم تعريف التركيب Comb1 لتركيب الأحمال القصوى:
Comb1:1.2D+1.6L



الشكل رقم (٤,١٢). النموذج التحليلي M2 للأساس.

النتائج

يبين الشكل رقم (٤,١٣) عزم الانحناء في الشرائح بالاتجاه x للنموذج التحليلي M2 للحالة Comb1 ويبين الجدول رقم (٤,٤) قيمة العزم السالب الأعظمي بالاتجاه x والعزم الموجب الأعظمي بالاتجاه y في كل من النموذجين التحليليين M1, M2 ويظهر الجدول أيضا تقاربا بين نتائج الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة في هذا المثال.



الشكل رقم (٤,١٣). مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه X (Comb1).

الجدول رقم (٤,٤). جدول مقارنة العزوم في النموذجين التحليليين.

Model No.	Max BM- (xx) KN.m/m	Max BM+ (yy) KN.m/m	Notes
M1	3388/3.25=1042	539	BM-: Footing width at Max. moment location =3.26 BM+:Moment is taken at coll face
M2	587.3/0.537=1094	691.3/1.4275=484	BM-: Strip width =0.537 BM+ : Strip width = 1.4725

التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن ارتفاع الأساس 1.0m والارتفاع الفعال 0.9m ويتم اعتبار حمل العمود هو نفسه جهد القص (لتجنب الحساب الدقيق لجهد القص حيث توزع الإجهاد خطي ولصالح الأمان).

العمود الأول

$$V_u=P_u=3067\ KN$$

$$b_o = 2(a+d/2) + (b+d)$$

$$b_o = 2(0.45+0.9/2) + (0.45+0.9) = 3.15\ m$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d \text{ , } V_c=\frac{\sqrt{35}}{3}(3.15\times 0.9)\times 1000 = 5591\ KN$$

$$V_u=3067<0.75\times 5591=4193\ KN\ (Ok.)$$

العمود الثاني

$$2382\ KN=V_u=P_u$$

$$V_u=2382<0.75\times 5591=4193\ KN\ (Ok.)$$

التحقيق على القص أحادي الاتجاه (وفق النموذج M2)

نجد من نتائج التحليل الإنشائي (مخطط القص للشرائح بالاتجاه x للحالة Comb1) أن جهد القص بالاتجاه x على بعد d من طرف العمود الثاني Col2 (انظر الشكل رقم ٤,١٠ a) هو الحالة الحرجة، وأن القيمة الأعظمية لإجهاد القص

$$V_u = 629\ KN/m$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd,\ V_c = \frac{\sqrt{35}}{6}(1.0 \times 0.9) \times 1000 = 887\ KN$$

$$V_u = 629 < 0.75 \times 887 = 665.3\ KN\ (Ok.)$$

حساب التسليح الرئيس (وفق النموذج M2)

التسليح العلوي (الاتجاه x)

$$M_u = 1094\ KN.m/m,\ \rho = 0.0037\ (\phi 25@140mm)$$

التسليح السفلي (الاتجاه y)

$$M_u = 484\ KN.m/m,\ \rho = \rho_{min} = 0.0018\ (\phi 16@120mm)$$

مخطط التسليح

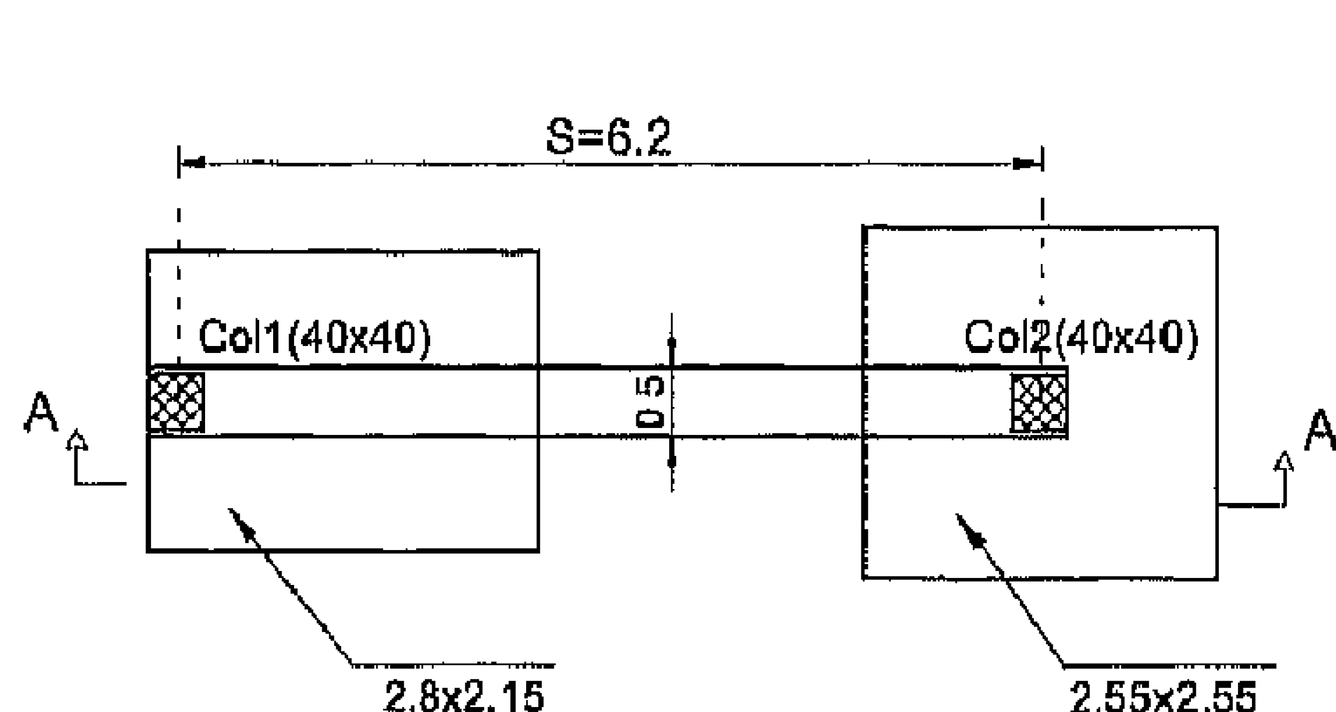
انظر الملحق C4 مع العلم أن التسليح السفلي بالاتجاه x والعلوي بالاتجاه y بنسبة دنيا.

المثال (٤,٣): أساس مشترك باستخدام جسر رابط Strap Beam Combined Footing

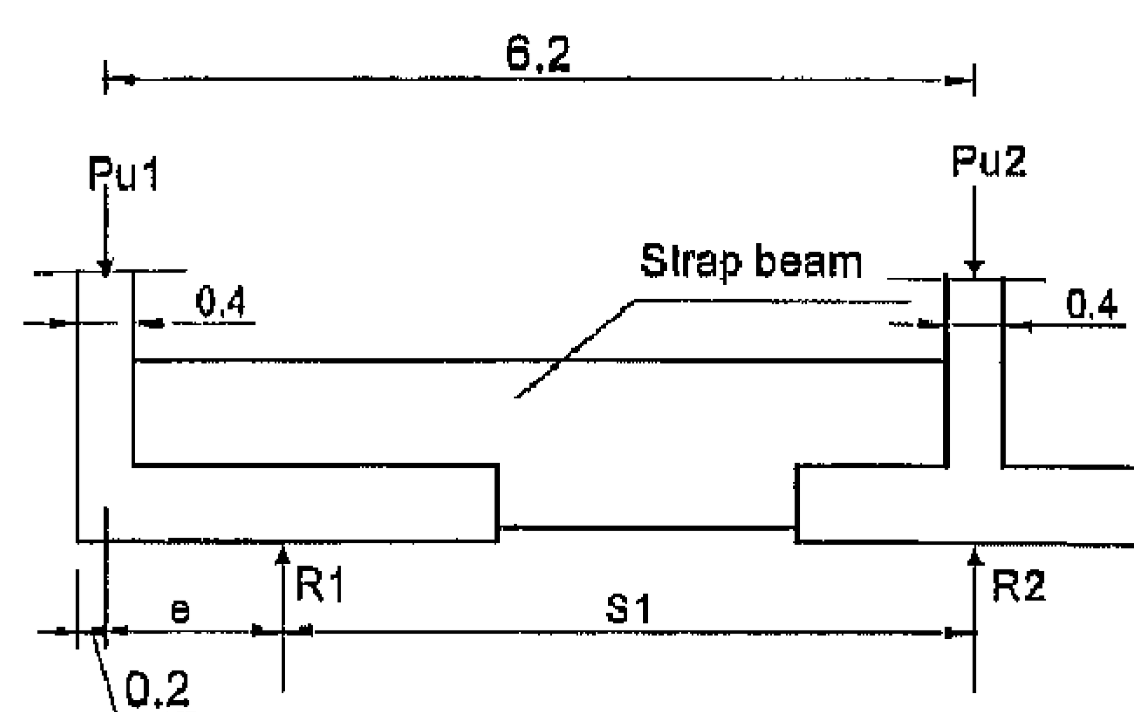
يطلب تصميم أساس مشترك لقاعدة طرفية مستطيلة وأخرى وسطية مربعة مع جسر رابط مع العلم أن الأحمال التي تنقلها الأعمدة إلى الأساس موضحة في الجدول رقم (٤,٥) وأن تحمل التربة المسموح الصافي $q_{an} = 135.5$ KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 30$ MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y = 414$ MPa ، (انظر الشكل رقم ٤,١٤).

الجدول رقم (٤,٥). أحمال الأعمدة (KN).

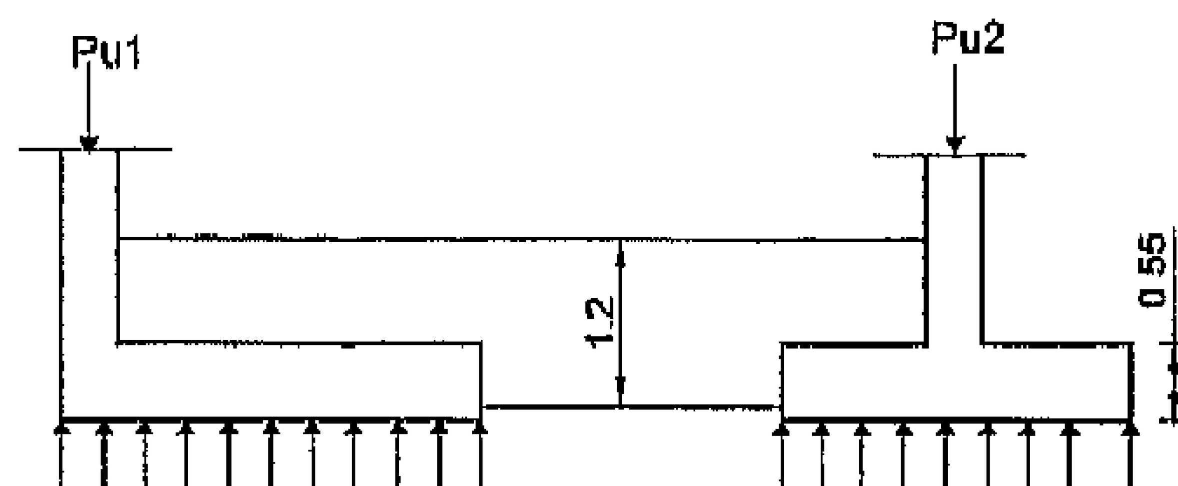
Col No	D	L	P=D+L	P_u=1.2D+1.6L
1	390	264	654	890
2	610	405	1015	1380
Σ			1669	2270



(a): plan of strap beam footing



(b): Section A-A



(c): Uniform soil reaction diagram

الشكل رقم (٤,١٤). قاعدة مشتركة باستخدام جسر رابط: (a) مسقط القاعدة، (b) المقطع A-A ، (c) مخطط رد الفعل التربة.

الغاية من المثال

تصميم قاعدة مشتركة لعمود طرفي وآخر وسطي مع جسر رابط وفق الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة ومقارنة النتائج ، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE ، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

الطريقة الجاسئة (النموذج التحليلي M1)

١- حساب أبعاد الأساس (الشكل رقم ٤,١٥)

نفترض أن e=1.2 m ونأخذ عزوم الأحمال حول مركز العمود الثاني

$$S1 = 6.2 - 1.2 = 5 \text{ m}$$

$$5R1 - 6.2 \times 890 = 0$$

$$R1 = 6.2 \times 890/5 = 1103.6 \text{ KN}$$

بأخذ العزوم حول محور العمود الأول

$$-1.2 \times 890 + 1380 \times 5 - R2 \times 5 = 0$$

$$R2 = 1166.4 \text{ KN}$$

يجب التأكد من أن مجموع القوى يساوي الصفر

$$(890+1380) - (1103.6+1166.4) = 0 \text{ (Ok.)}$$

أبعاد قاعدة العمود الأول

$$f1 = \frac{\Sigma P_u}{\Sigma P} = \frac{2270}{1669} = 1.36$$

$$q_u = 1.36 \times 135.5 = 184.3 \text{ KN/m}^2$$

$$L1 = 2(e + w/2) = 2\,(1.2 + 0.2) = 2.8 \text{ m}$$

$$L1 \times B1 \times q_u = R1$$

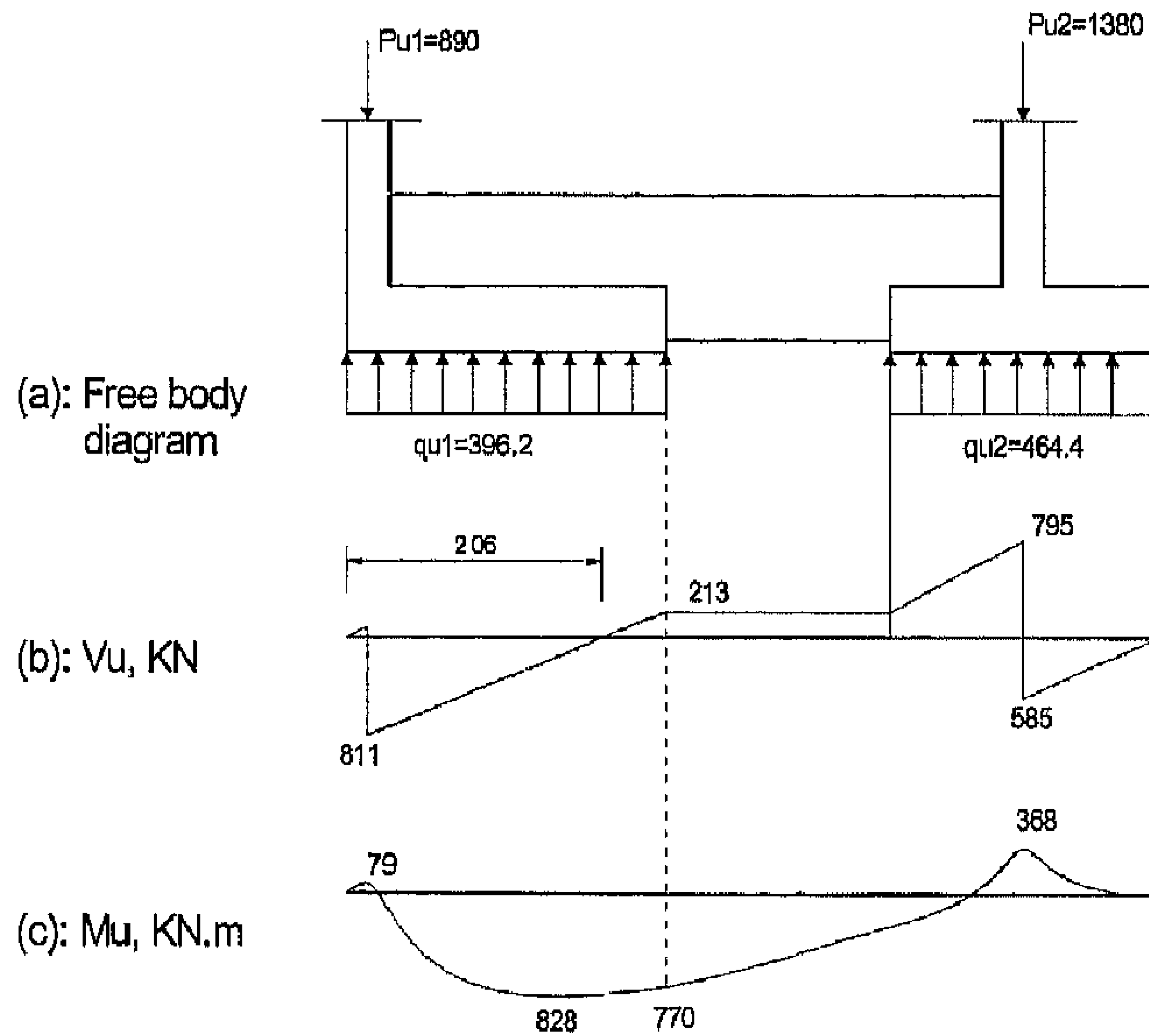
$$B1 = 1103.6/(2.8 \times 184.3) = 2.139 \text{ m } (2.15)$$

أبعاد قاعدة العمود الثاني

$$B2^2 \times q_u = R2$$

$$B2 = \sqrt{\frac{1166.4}{184.3}} = 2.52 \text{ m } (2.55)$$

نستنتج أن قاعدة العمود الأول ذات بعدين (2.15× 2.8) وأن قاعدة العمود الثاني ذات بعدين (2.55×2.55).



الشكل رقم (٤,١٥). تحليل القاعدة المشتركة: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

مما سبق نجد أن قيمة B1 وB2 متقاربتان ، أما بالنسبة للجسر الرابط فيتم افتراض أبعاد مقطعه 1.2 m × 0.5 وذلك لتحقيق شرط : أن يكون عزم القصور الذاتي للجسر الرابط أكبر من ضعف عزم القصور الذاتي للقاعدة لضمان عدم دوران القاعدة الطرفية كما ورد في الفقرة (٤,٤).

٢- رسم مخطط قوى القص وعزم الانحناء

يتم إنشاء مخطط الجسم الطليق للقاعدة حيث أحمال الأعمدة من الأعلى ورد الفعل المنتظم من الأسفل، (انظر الشكل رقم ٤,١٥ a)، وبناء عليه يتم رسم مخطط قوى القص ومخطط عزم الانحناء كما هو موضح في الشكل رقم (٤,١٥ b,c). بالنسبة لإجهاد رد الفعل فيحسب أسفل كل قاعدة

الإجهاد تحت قاعدة العمود الأول

$$q_{u1}= 184.3\times2.15 =396.2 \text{ KN/m}$$

الإجهاد تحت قاعدة العمود الثاني

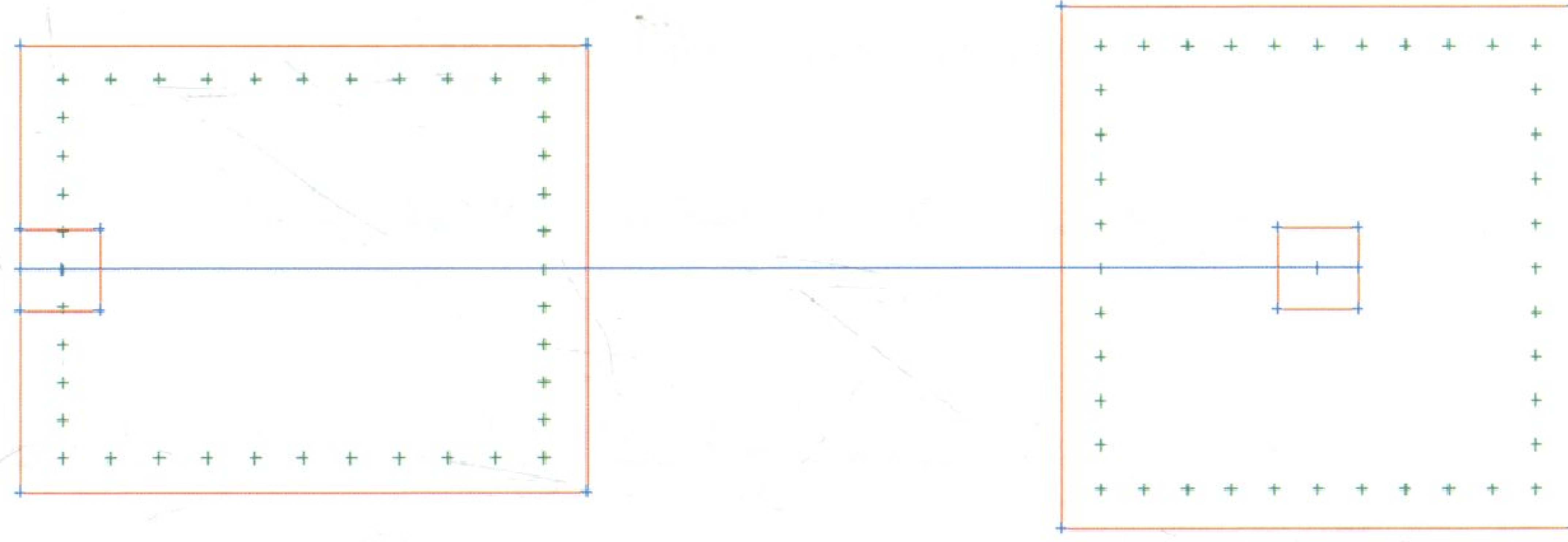
$$q_{u2}= 184.3\times2.52 =464.4 \text{ KN/m}$$

طريقة العناصر المحدودة (النموذج التحليلي M2)

يتم تمثيل القاعدتين باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing أما الأعمدة فهي عناصر Slab نوع Column والجسر الرابط يمثل باستخدام عنصر كمرة Beam (انظر الشكل رقم (٤,١٦) الذي يظهر النموذج التحليلي M2) ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد بمعرفة معامل رد فعل التربة

$$K_s=120\times135.5 = 16260 \text{ KN/m}^3$$

يتم إدخال الأحمال المحورية التشغيلية لكل من العمودين بتعريف مركز كل منهما باعتباره Point نوع Null، ويتم تعريف التركيب Comb1 لتركيب الأحمال القصوى:
Comb1:1.2D+1.6L



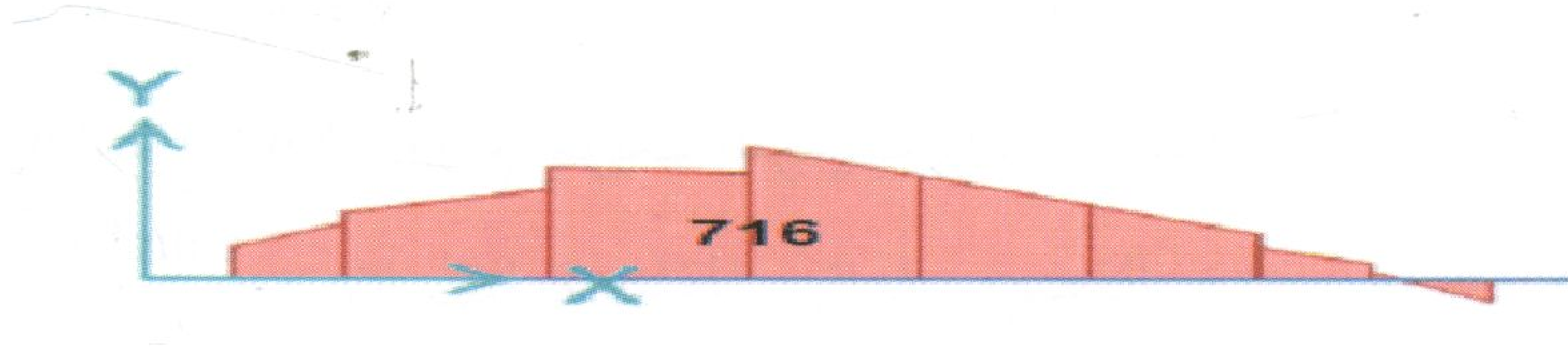
الشكل رقم (٤,١٦). النموذج التحليلي M2.

النتائج

يبين الشكل رقم (٤,١٧) مخطط عزم الانحناء (أحمال قصوى) في الجسر الرابط، ويبن الجدول رقم (٤,٦) مقارنة بين قيم عزم الانحناء الأعظمي والقص الأعظمي في الجسر الرابط في كل من النموذجين التحليليين M1, M2 حيث يظهر الجدول تقاربا بين نتائج الطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة في هذا المثال.

الجدول رقم (٤,٦). جدول مقارنة الجهود (بجوار الطرف الداخلي لقاعدة العمود الأول) في الجسر الرابط في M1, M2.

بعد مقطع حساب قوى القص عن يسار الأساس m	قوة القص العظمى SF KN /m	بعد مقطع حساب العزم عن يسار الأساس m	عزم الانحناء الأعظمي BM KN.m/m	Model No.
2.8	213	2.8	770	**M1**
2.8	207	2.8	716	**M2**



Bending Moment Diagram for strap beam of M2 (KN.m)

الشكل رقم (٤,١٧). مخطط عزم الانحناء في الجسر الرابط.

٣- تصميم المقاطع (حسب نتائج النموذج التحليلي M2)

تصميم قاعدة العمود الأول

نفترض أن ارتفاع القاعدة h = 0.55 m والإرتفاع الفعال d = 0.48

التحقيق على القص أحادي الاتجاه

إجهاد القص الأعظمي المصعد على بعد d من الجسر

$$V_u = 166 \text{ KN}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd \text{ , } V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(2.8 \times 0.48) \times 1000 = 1227 \text{ KN}$$

$$V_u = 166 < 0.75 \times 1227 = 920 \text{ KN (Ok.)}$$

التسليح العلوي (الاتجاه x)

$$M_u = 107 \text{ KN.m/m}$$

$$\rho = \rho_{min} = 0.0018\ (\phi\, 14@175\text{mm})$$

التسليح السفلي (الاتجاه y)

$M_u = 113$ KN.m/m

$\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ 14@175mm)

تصميم قاعدة العمود الثاني

نفترض أن ارتفاع القاعدة h = 0.55 m والارتفاع الفعال d = 0.48

التحقيق على القص أحادي الاتجاه

إجهاد القص الأعظمي المصعد على بعد d من الجسر

$V_u = 247$ KN

$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd$, $V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(2.55 \times 0.48) \times 1000 = 1117$ KN

$V_u = 247 < 0.75 \times 1117 = 838$ (Ok.)

التسليح السفلي (الاتجاه x)

$M_u = 200.4$ KN.m/m,

$\rho = 0.0024$ (ϕ 16@170mm)

التسليح السفلي (الاتجاه y)

$M_u = 159$ KN.m/m,

ρ= 0.0019 (ϕ16@200mm)

تصميم الجسر الرابط

تسليح الكمرة لمقاومة القص: عرض الجسر: B=0.5 m، ارتفاع الجسر: h=1.2 m والارتفاع الفعال: d= 1.1 m، تصمم الكمرة على القص وفق القيمة العظمى لجهد القص

V_u = 207 KN

8@200 mm) ϕ A_v/s=4.246 (Select 4

تسليح الكمرة على الانحناء

التسليح العلوي

M_u = 716 KN.m,

ρ = 0.0033 (6ϕ20)

مخطط التسليح

انظر الملحق C5، لاحظ أن قاعدة العمود الأول تحتاج إلى تسليح علوي لوجود عزوم سالبة بينما قاعدة العمود الثاني لا تحتاج لذلك.

المثال (٤,٤): أساس مشترك لثلاثة أعمدة بخيارين (مقطع مستطيل ومقطع T مقلوب)
Combined Footing for 3 Columns (Rectangular & Inverted T Sections)

يطلب تصميم قاعدة مشتركة لثلاثة أعمدة، (انظر الشكل رقم ٤,١٨) مع العلم أن أحمال وأبعاد الأعمدة موضحة في الجدول رقم (٤,٧) وأن تحمل التربة

المسموح الصافي q_{an} = 220 KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c=30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y=414 MPa والمعامل f1=1.35 ، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

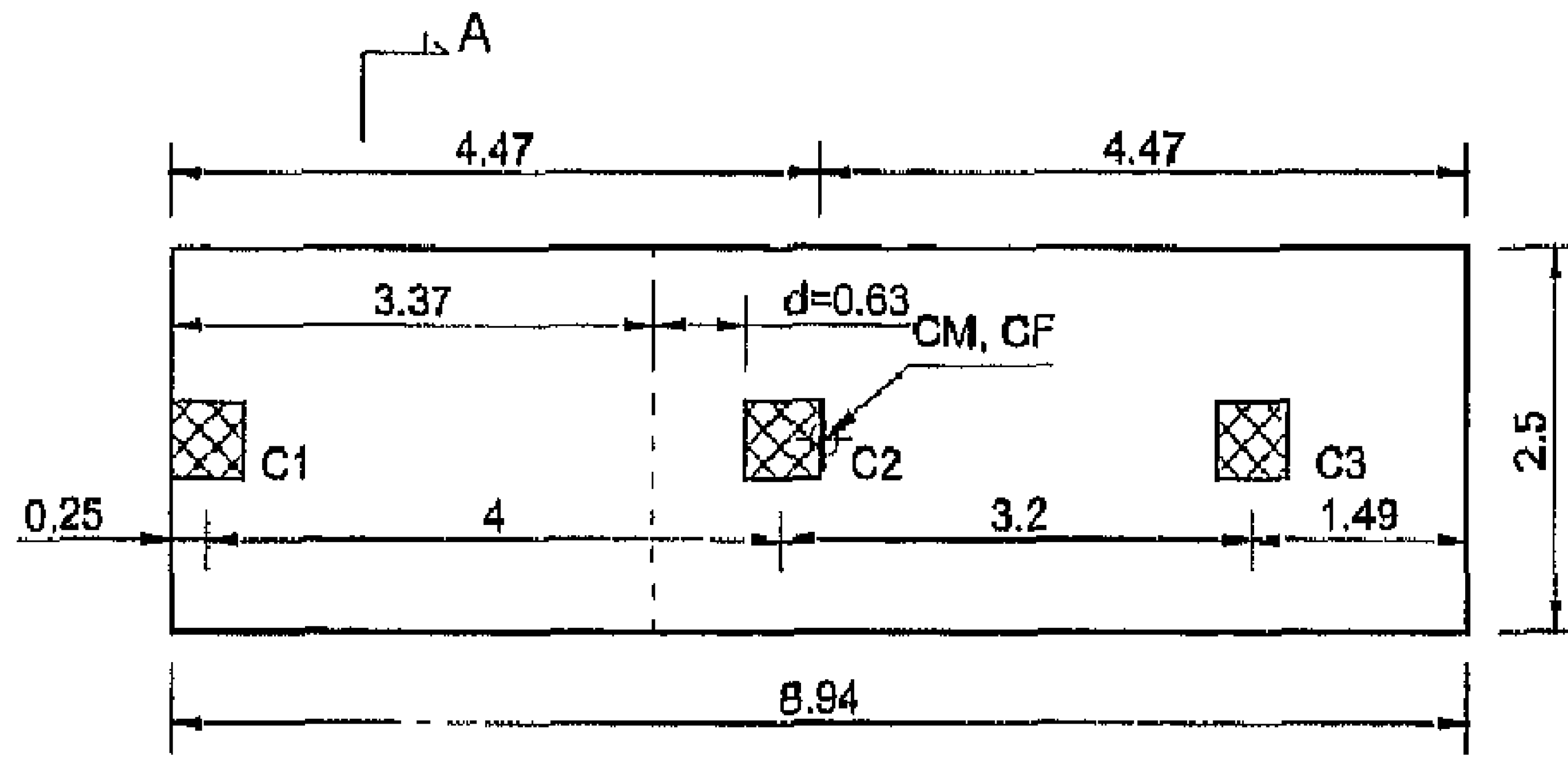
تصميم قاعدة مشتركة لثلاثة أعمدة وفق طريقة العناصر المحدودة، وذلك باستخدام مقطع مستطيل ومقطع T مقلوب للأساس.

البرنامج المفضل استخدامه

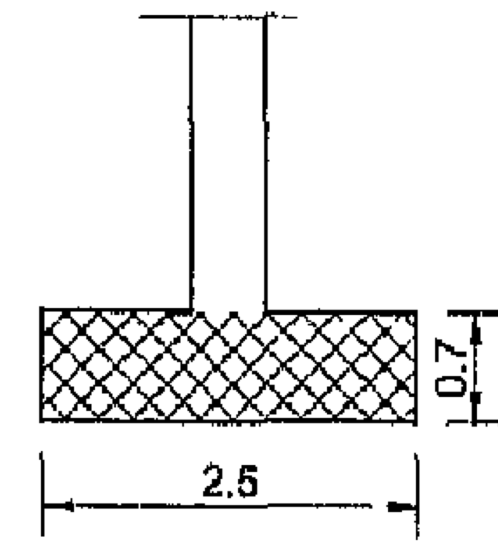
SAFE، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

الجدول رقم (٤,٧). أحمال وأبعاد الأعمدة.

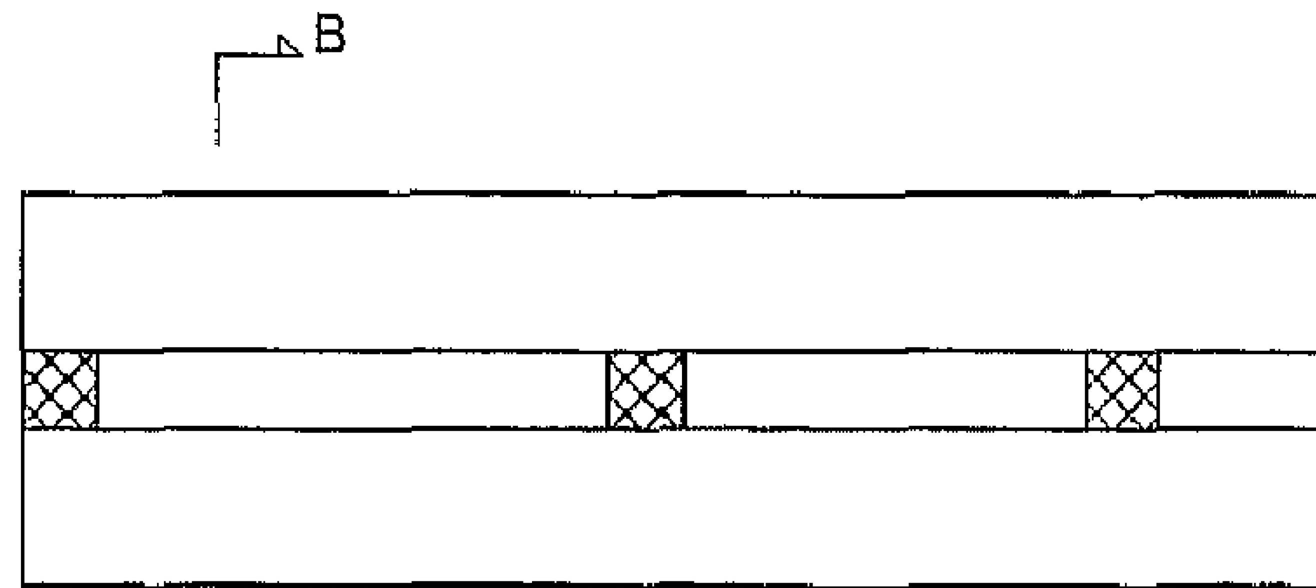
Col. No.	C1	C2	C3
P(D+L), KN	1100	2000	1700
Section, m	0.5×0.5	0.5×0.5	0.5×0.5



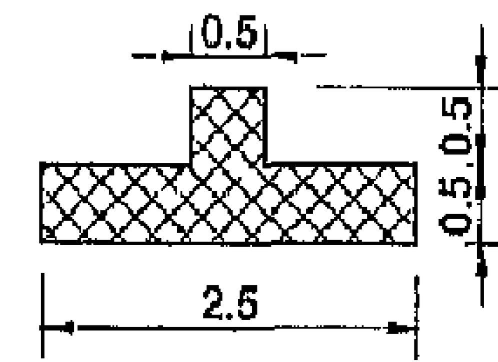
(a): Rectangular combined footing



(c): Section A-A



(b): Inverted T combined footing



(d): Section B-B

الشكل رقم (٤,١٨). أساس مشترك لثلاث أعمدة: (a) مسقط القاعدة المشتركة بمقطع مستطيل، (b) مسقط القاعدة المشتركة بمقطع T مقلوب، (c) المقطع A-A، (d) المقطع B-B.

١- حساب أبعاد الأساس

يتم تحديد مركز ثقل الأحمال المطبقة على الأساس CF وذلك بأخذ عزوم القوى حول طرف الأساس من اليسار وفق ما يلي

$$X_{CF} = (1100\times0.25+2000\times4.25+1700\times7.45)/(1100+2000+1700)$$

$$= 4.47 \text{ m}$$

وبذلك يكون طول الأساس

$$L = 2\times4.47=8.94 \text{ m}$$

وبفرض عرض الأساس B=2.5 m، وارتفاع الأساس h=0.7m يكون فرق وزن الخرسانة عن التربة للأساس

$$W=8.94\times2.5\times0.7\times(25-18)=109.5 \text{ KN}$$

$$q=(1100+2000+1700+109.5)/(8.94\times2.5)=219.6 \text{ KN/m}^2$$

$$q < q_{na}=220 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

يمكن حساب رد الفعل الأقصى لإنشاء مخطط رد الفعل المنتظم

$$q_u=1.35\times(219.6\times2.5)=741 \text{ KN/m}$$

تجدر الإشارة إلى أن أبعاد الأساس (طول، عرض) تبقى نفسها سواء بافتراض أن مقطع الأساس مستطيل أو T مقلوبة.

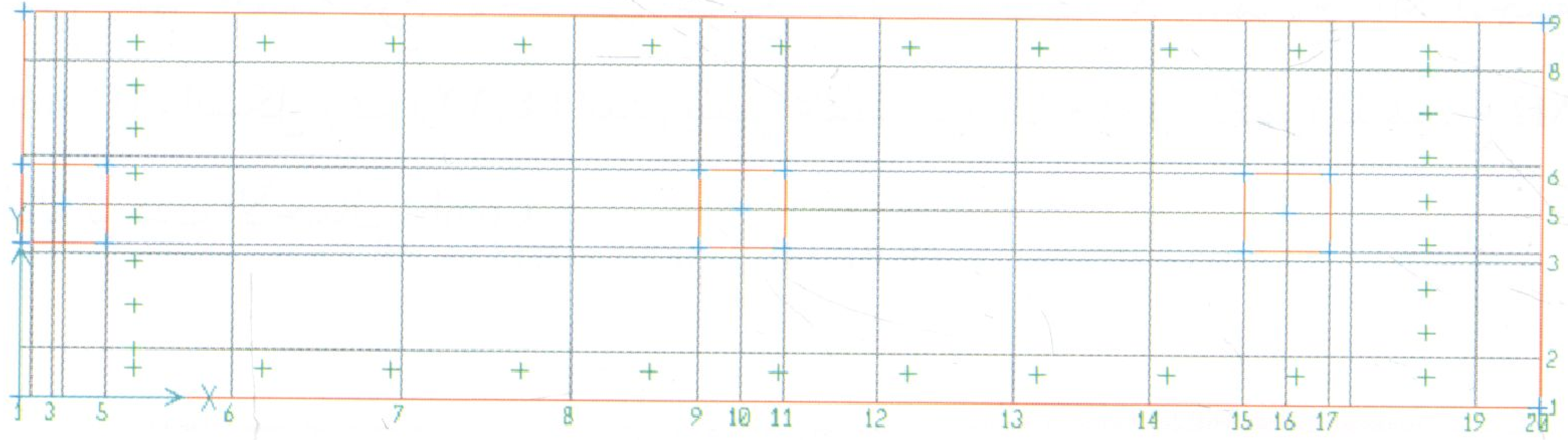
النموذج التحليلي (M1)- مقطع الأساس مستطيل

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing سَماكة 70cm أما الأعمدة فنوعها Column ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد بمعرفة معامل رد فعل التربة

$$K_s = 120 \times 220 = 26400\ KN/m^3$$

يتم إدخال الأحمال التشغيلية للأعمدة بتعريف مركز كل منهما باعتباره Point نوع Null ، (انظر الشكل رقم ٤,١٩). يتم اعتبار حالة تركيب الأحمال

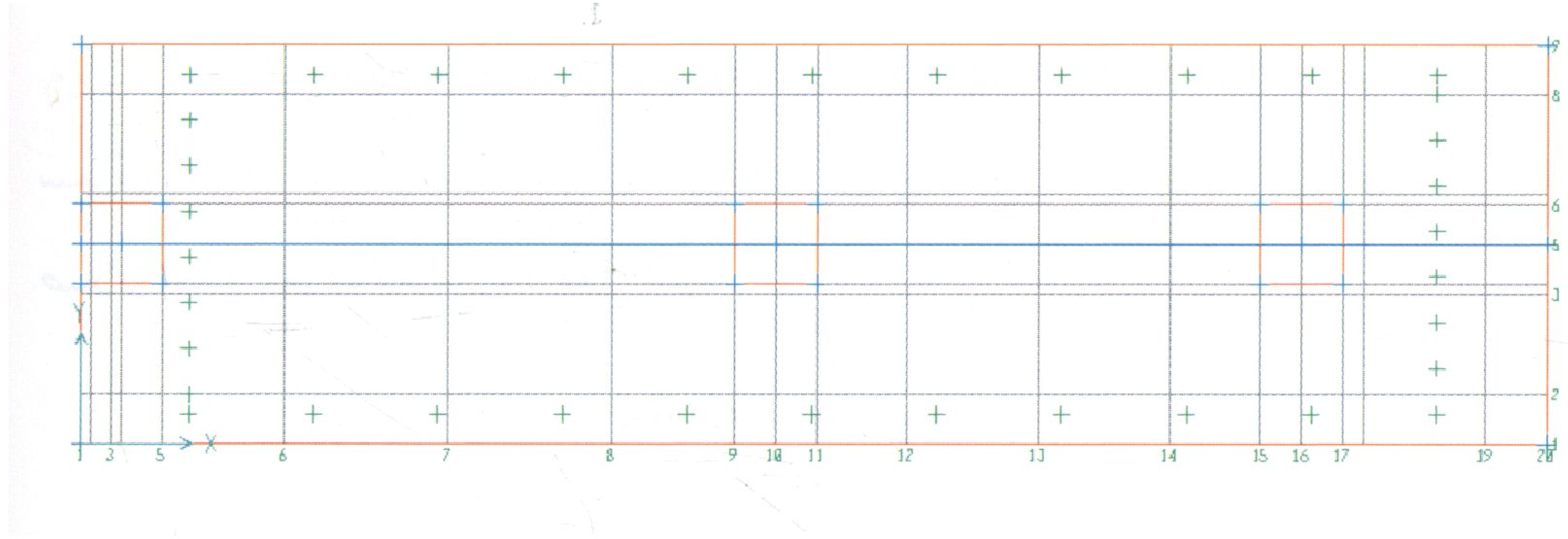
Comb1: f1 (D+L) = 1.35 (D+L)



الشكل رقم (٤,١٩). النموذج التحليلي M1.

النموذج التحليلي (M2)- مقطع الأساس T مقلوبة

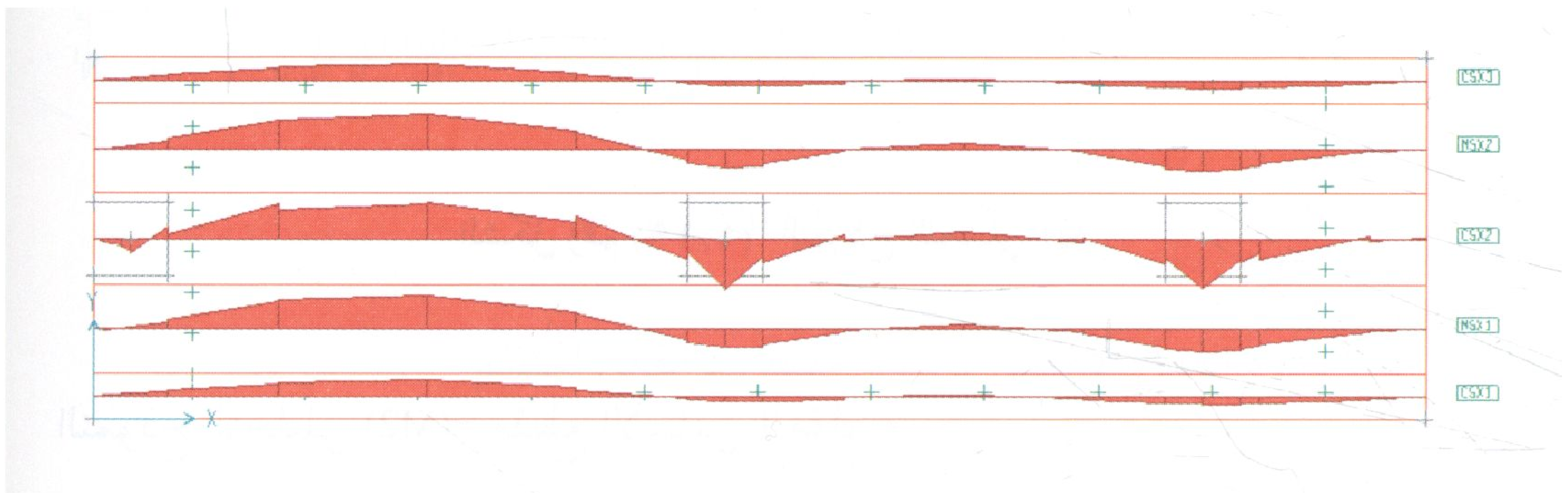
يتم تمثيل الأساس بنفس الطريقة مع اعتبار سماكة البلاطة 50cm ويتم تمثيل الكمرة باستخدام Beam element بعرض 50cm وارتفاع 100cm ، (انظر الشكل رقم ٤,٢٠).



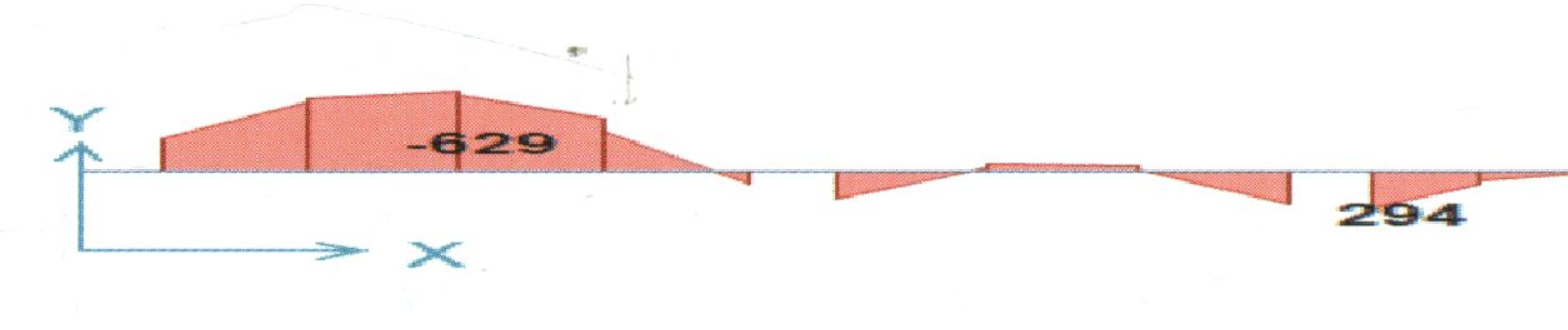
الشكل رقم (٤,٢٠). النموذج التحليلي M2.

٢- النتائج

تم إجراء التحليل الإنشائي والحصول على النتائج، (انظر الشكل رقم (٤,٢١) الذي يظهر مخطط عزم الانحناء في شرائح البلاطة بالاتجاه X للنموذج M1 (الحالة Comb1) والشكل رقم (٤,٢٢) الذي يظهر مخطط عزم الانحناء في الكمرة للنموذج M2 لحالة تركيب الأحمال Comb1.



الشكل رقم (٤,٢١). مخطط عزم الانحناء Mx للنموذج التحليلي M1.



Bending Moment Diagram for inverted beam of M2 (KN.m)

الشكل رقم (٤,٢٢). مخطط عزم الانحناء للكمرة في النموذج التحليلي M2.

٣- تصميم المقاطع

تصميم الأساس - مقطع مستطيل (النموذج M1)

التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن الارتفاع الفعال $d = 0.63$ ويكتفى بتحقيق القص عند العمودين الأول والثاني

العمود C1

$$q_u = 1.35 \times (1100+2000+1700)/(8.94 \times 2.5) = 290 \text{ KN/m}^2$$

$$V_u = P_u - [(a+d/2)(b+d)]q_u$$

$$V_u = 1.35 \times 1100 - [(0.5 + 0.63/2)(0.5+0.63)]\ 290 = 1218 \text{ KN}$$

$$b_o = 2(a+d/2) + (b+d)$$

$$b_o = 2(0.5+0.63/2) + (0.5+0.63) = 2.76 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d \text{ , } V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(2.76 \times 0.63) \times 1000 = 3175 \text{ KN}$$

$$V_u = 1218 < 0.75 \times 3175 = 2381 \text{ KN (Ok.)}$$

العمود الثاني C2

$$V_u = P_u - [(a+d)(b+d)]q_u$$

$$V_u = 1.35 \times 2000 - [(0.5 + 0.63)(0.5 + 0.63)]\ 290 = 2330 \text{ KN}$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_o = 2(0.5+0.63) + 2(0.5+0.63) = 4.52 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d \text{ , } V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(4.52 \times 0.63) \times 1000 = 5200 \text{ KN}$$

$$V_u = 2330 < 0.75 \times 5200 = 3900 \text{ KN (Ok.)}$$

التحقيق على القص أحادي الاتجاه

بتدقيق القص أحادي الاتجاه على بعد d من وجه العمود نجد أن جهد القص بالاتجاه على بعد d من طرف العمود الثاني C2 هو الحالة الحرجة، (انظر الشكل رقم ٤,١٨ a). يتم استنتاج قيمة جهد القص في هذا المقطع وفق ما يلي:

$$V_u = (741 \times 3.37) - (1.35 \times 1100) = 1012 \text{ KN}$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd$$

$$V_c=\frac{\sqrt{30}}{6}(2.5\times 0.63)\times 1000=1438\ \text{KN}$$

$V_u=1012<0.75\times1438=1078.5$ KN (Ok.)

حساب التسليح

التسليح العلوي (الاتجاه الطويل)

M_u = 442.5 KN.m/m,

$\rho=0.003$ (ϕ20@160)

التسليح السفلي (الاتجاه الطويل)

M_u = 300 KN.m/m

$\rho=0.002$ (ϕ16@155)

التسليح السفلي (الاتجاه القصير)

M_u = 260 KN.m/m

$\rho=\rho_{min}=0.0018$ (ϕ16@175)

تصميم الأساس – مقطع T (النموذج M2)

التحقيق على القص أحادي الاتجاه في البلاطة

على اعتبار الارتفاع الفعال للبلاطة d=0.45 m وإجهاد القص الأعظمي المصعد على بعد d من طرف الكمرة وباعتبار شريحة بطول 1 m من البلاطة :

$$V_u = 265 \text{ KN/m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd \text{, } V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(1.0 \times 0.45) \times 1000 = 411 \text{ KN}$$

$$V_u = 265 < 0.75 \times 411 = 308 \text{ KN (Ok.)}$$

حساب التسليح للبلاطة

التسليح السفلي للبلاطة (الاتجاه القصير)

$$M_u = 219 \text{ KN.m/m, } \rho = 0.0036$$

التسليح العلوي (الاتجاه الطويل)

$$M_u = 174 \text{ KN.m/m, } \rho = 0.0024$$

التسليح السفلي (الاتجاه الطويل)

$$M_u = 111 \text{ KN.m/m, } \rho = \rho_{min} = 0.0018$$

حساب التسليح للكمرة

تسليح الكمرة على القص

ارتفاع الكمرة h=1.0 m والارتفاع الفعال d= 0.93 m، تصمم الكمرة على القص وفق القيمة العظمى لجهد القص (على بعد d من وجه العمود أو ما بعد ذلك)

$V_u = 505$ KN

$A_v/s=6.558$ cm^2/m

تسليح الكمرة على الانحناء

التسليح العلوي

$M_u = -629$ KN.m, $\rho = 0.004$

التسليح السفلي

$M_u = 294$ KN.m, $\rho = 0.0019$

٤- المقارنة بين الحلين

يمكن المقارنة بين الحلين (الأساس بمقطع مستطيل والأساس بمقطع T) باعتبار الكلفة الإجمالية لكل من الحلين باعتبار حجم الخرسانة، ونسبة التسليح، والقالب الخشبي، واليد العاملة، ومن ثم اختيار الحل الأنسب.

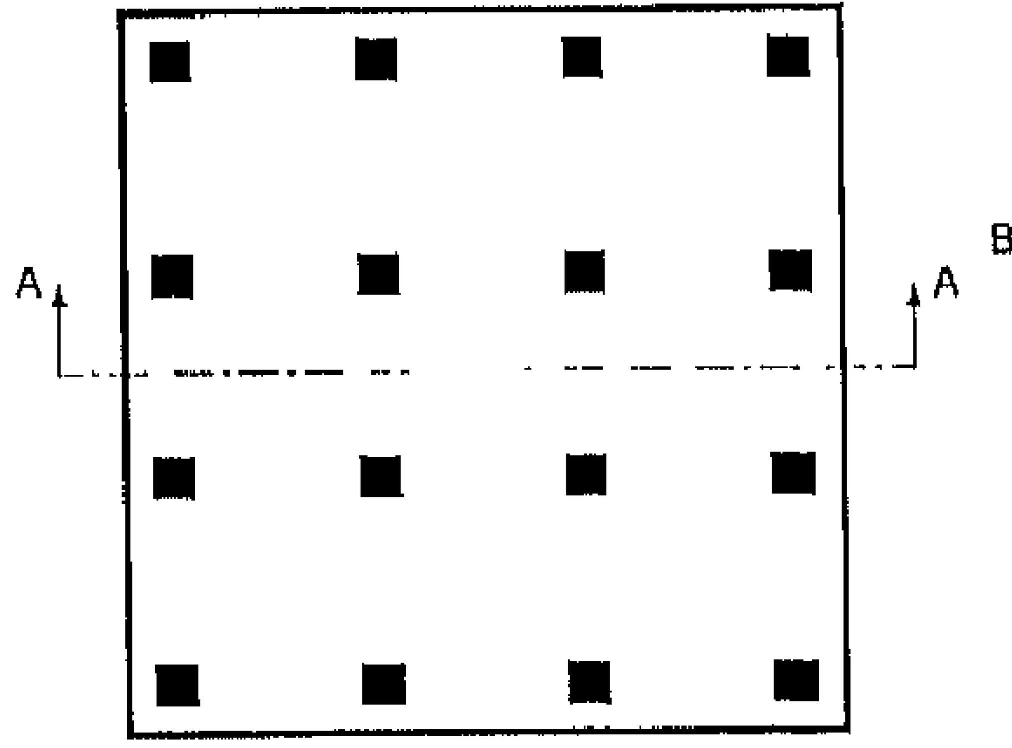
الفصل الخامس

الحصائر
RAFT (MAT) FOUNDATIONS

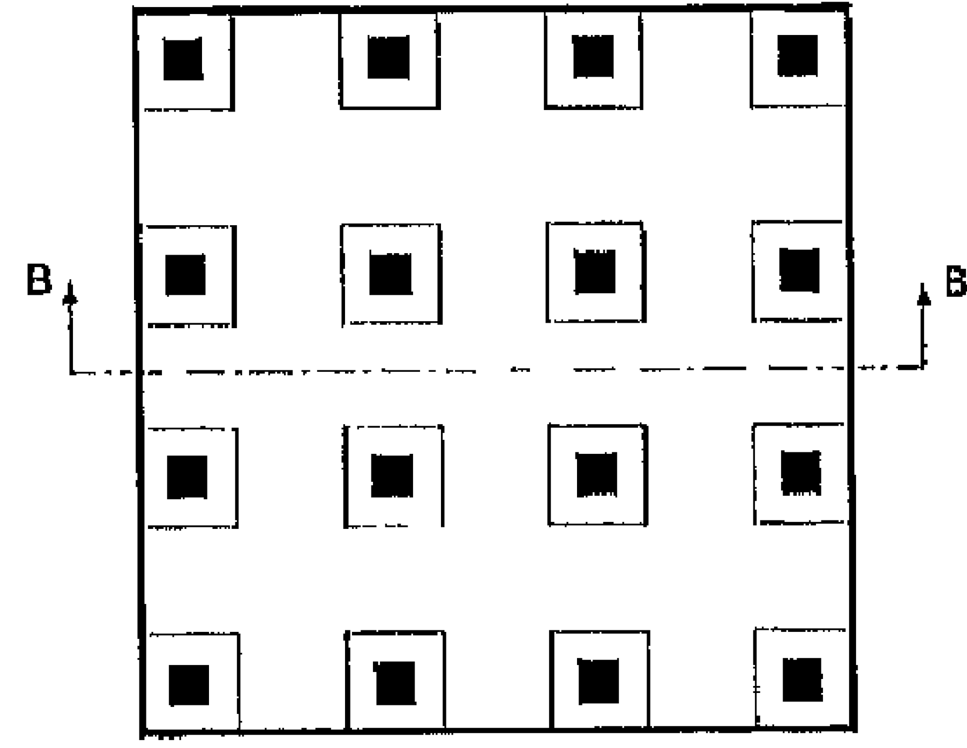
(٥,١) أنواع الحصائر
Types of Raft Foundations

الحصيرة Mat Foundation or Raft Foundation هي بلاطة خرسانية كبيرة الحجم تستخدم كأساس لعدة أعمدة أو جدران في مبنى أو أساس لمنشأة برجية (خزان ماء عالي، خزان ماء أرضي، مدخنة، صومعة، ... إلخ) وذلك لنقل أحمال هذه الأعمدة (الجدران/المنشأة) إلى التربة، يمكن أن تكون الحصيرة على كامل مساحة البناء، وتسمى حصيرة عامة، أو فقط في جزء منه وتسمى حصيرة جزئية. تستخدم أساسات الحصيرة عادة عند كون تحمل التربة ضعيفا وأحمال الأعمدة كبيرة ويمكن النظر في إمكانية استخدام قواعد منفصلة Spread footings متقاربة بدلا من الحصيرة؛ لكونها أوفر من ناحية أنها لا تحتاج إلى حديد علوي رئيس، ومن ناحية حجم الخرسانة المتوقع أن يكون أقل في حالة القواعد المنفصلة. غالبًا ما تكون الحصائر على شكل بلاطة ذات سماكة بحدود (0.7-2 m) ويمكن أن تبرز عن حدود المبنى بمسافة أقل أو تساوي 1.0m أو أكبر من ذلك بقليل، (انظر الشكل رقم ٥,١ a) ويمكن أن تكون الحصائر على شكل بلاطة مسطحة بسماكة (0.4-1 m) ومقواة عند الأعمدة برقبات

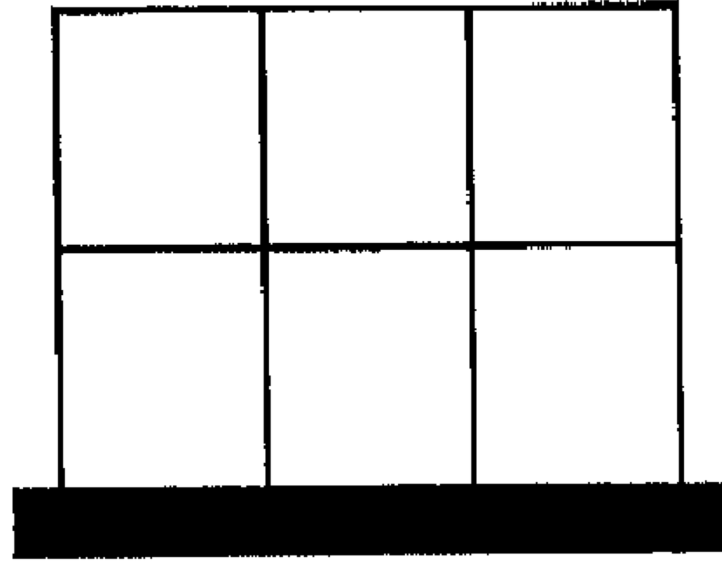
قصيرة (مخدات) Pedestals قد تكون منخفضة إلى الأسفل أو مرفوعة إلى الأعلى، (انظر الشكل رقم ٥,١ b) وذلك لزيادة مقاومة الحصيرة على القص بجوار الأعمدة، وقد تكون البلاطة مقواة بجسور مقلوبة أو ساقطة Inverted or drop beams، (انظر الشكل رقم ٥,٢ a) وقد تكون الحصيرة مؤلفة من بلاطة سفلية عند مستوى التربة وبلاطة علوية عند مستوى سقف القبو Basement roof، يربط بينهما جسور عميقة بكامل ارتفاع القبو، (انظر الشكل رقم ٥,٢ b).

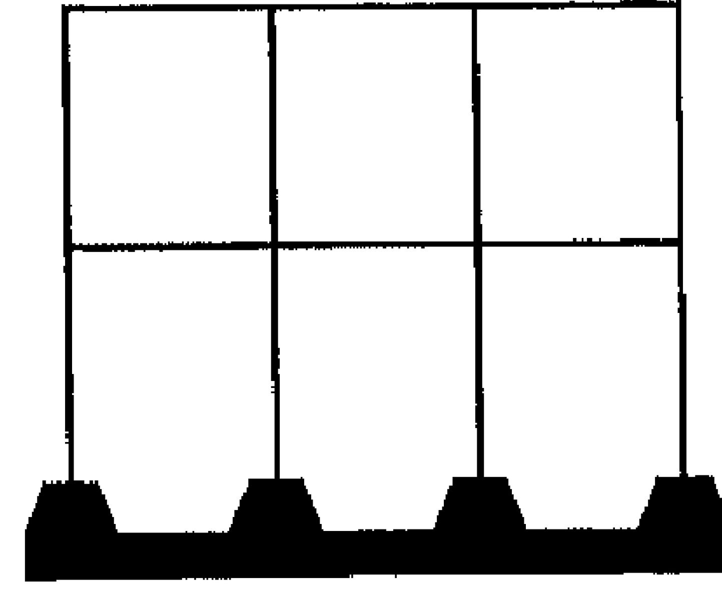


(a): Plan of flat slab raft

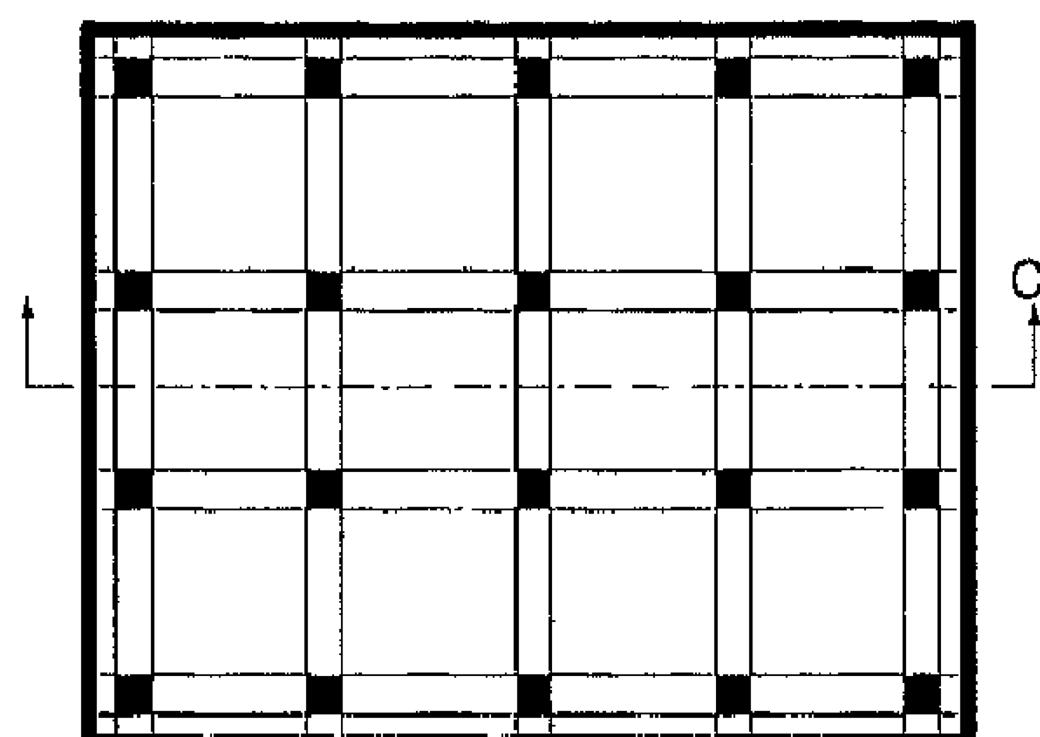


(b): Plan of flat slab raft with column heads (above slab)

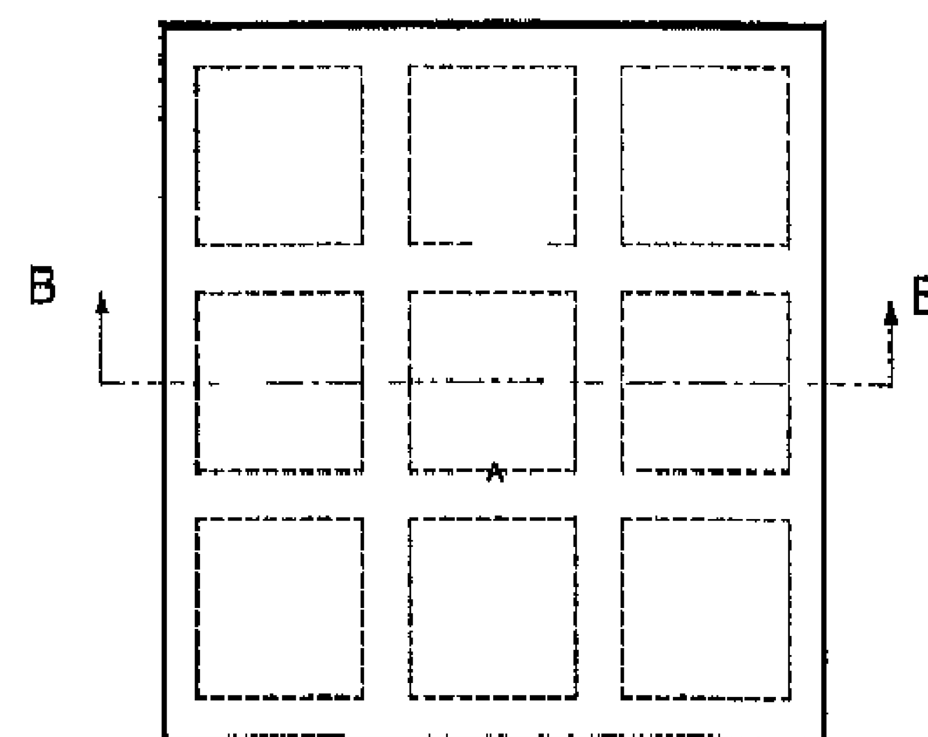

(c): Section A-A


(d): Section B-B

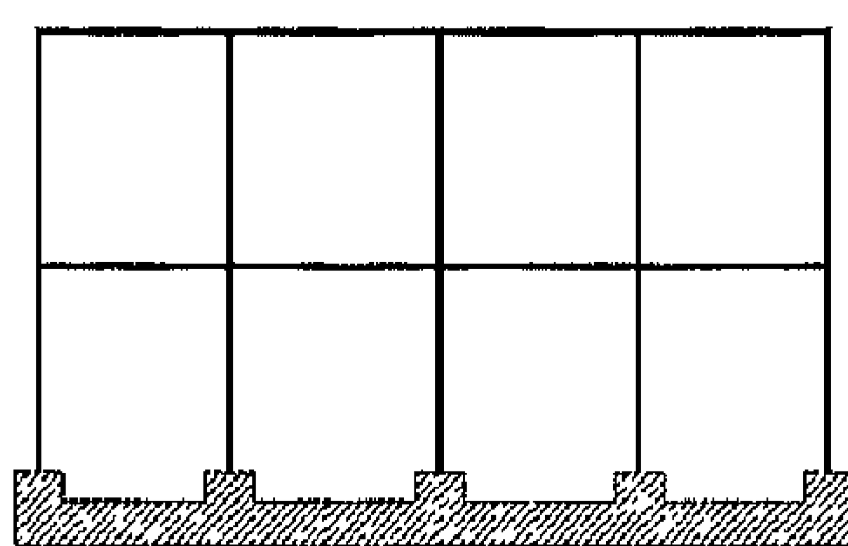
الشكل رقم (٥,١). أنواع الحصائر I: (a) مسطح حصيرة نوع بلاطة منبسطة، (b) مسطح حصيرة نوع بلاطة منبسطة مع رقبات فوق الأعمدة، (c) المقطع A-A، (d) المقطع B-B.



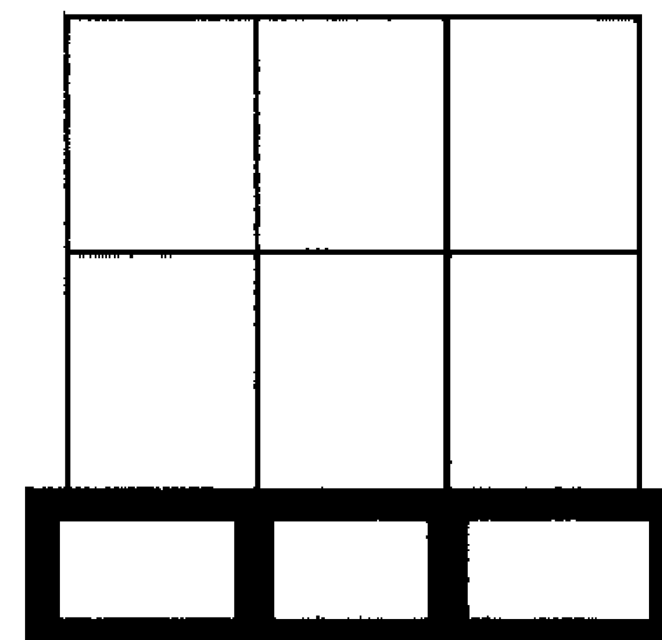
(a): Inverted Beam and Slab Raft (Plan)



(b): Slab with basement walls raft (Raft)



(c): Section C-C



(d): Section B-B

الشكل رقم (٥,٢). أنواع الحصائر II: (a) مسطح حصيرة نوع بلاطة وجسور مقلوبة، (b) مسطح حصيرة نوع بلاطة وحوائط قبو، (c) مقطع C-C، (d) المقطع B-B.

(٥,٢) طرق التحليل الإنشائي للحصائر

Methods of Structural Analysis of Raft Foundations

مهما كانت الطريقة المتبعة في تحليل وتصميم الحصيرة العامة يجب ابتداء إجراء حصر لكافة القوى المطبقة على الحصيرة (أي القوى الناجمة عن الأحمال الميتة والحية) وتحديد محصلة القوى ومركز تطبيقها؛ ليتم على أساس ذلك تحديد أبعاد الحصيرة، ومن ثم يتم تحقيق إجهاد التربة تحت الحصيرة على تراكيب الأحمال بما فيها تلك التراكيب التي تشمل القوى الجانبية (زلازل، رياح). أحد العوامل المهمة في تحديد

سماكة الحصيرة هو مقاومتها على القص بجوار الأعمدة والعامل الآخر هو كونها تحقق شرط الجساءة في حال اعتماد الطريقة الجاسئة، (انظر الفقرة ٥,٣,١). تعرض هذه الفقرة ثلاث طرق للتحليل الإنشائي للحصائر والأساسات المشتركة وهي الطريقة الكلاسيكية الجاسئة، الطريقة التقريبية المرنة وطريقة العناصر المحدودة. تحتوي الطريقة الكلاسيكية الجاسئة على العديد من عوامل التقريب عدا عن كون استخدامها مشروطًا بكونها جاسئة جدًا، والتباعد بين الأعمدة منتظم والأحمال متقاربة. أما الطريقة المرنة فتعتبر طريقة تقريبية يقصر استعمالها على الحصائر المرنة. ومع توفر البرامج التي تعتمد على النمذجة التحليلية مثل (العناصر المحدودة) يفضل حاليًا استخدام طريقة تعتمد على النمذجة التحليلية، خصوصًا وأن طريقة العناصر المحدودة تعطي قيما أقل للجهود مقارنة مع الطريقة الجاسئة مثلاً، كما هو موضح بالأمثلة بنهاية الفصل. ولأخذ فكرة عن تسليح الحصائر (انظر الملحقين C6-C7).

(٥,٢,١) الطريقة الكلاسيكية الجاسئة Conventional Rigid Method

تعتمد هذه الطريقة على اعتبار أن الحصيرة جاسئة بشكل غير محدد infinitely rigid وبالتالي لا يحدث فيها تشوهات (انتقالات) نتيجة الأحمال، وأن ضغط التربة موزع بشكل خطي، وأن محصلة رد فعل التربة متمركز مع محصلة الجهود المطبقة، (انظر الشكل رقم ٥,٣ a). تتضمن هذه الطريقة تقسيم الحصيرة إلى شرائح وسطية وشرائح طرفية بالاتجاهين، ومن ثم تحلل كل شريحة على أساس أنها جسم حر (طليق) Free Body معرض إلى قوى رد فعل التربة من الأسفل وأوزان الأعمدة والعناصر الإنشائية الأخرى، (انظر الفقرة ٥,٤). يشترط في استخدام هذه الطريقة ما يلي:

١- المسافات بين الأعمدة منتظمة، لا تزيد فرق المسافة بين كل عمودين عن ٢٠٪.

٢- أحمال الأعمدة متقاربة: لا يزيد فرق الأحمال بين الأعمدة عن ٢٠٪.

٣- الحصيرة جاسئة جدًا، ويمكن التأكد من ذلك بتحقيق الشرط التالي:

$$D < \frac{1.75}{\beta} \tag{5.1}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{BK_s}{4E\ I_F}} \tag{5.2}$$

$$I_F = Bh^3/12 \tag{5.3}$$

حيث إن:

D المسافة بين الأعمدة، B عرض الشريحة، h سماكة الحصيرة (m)

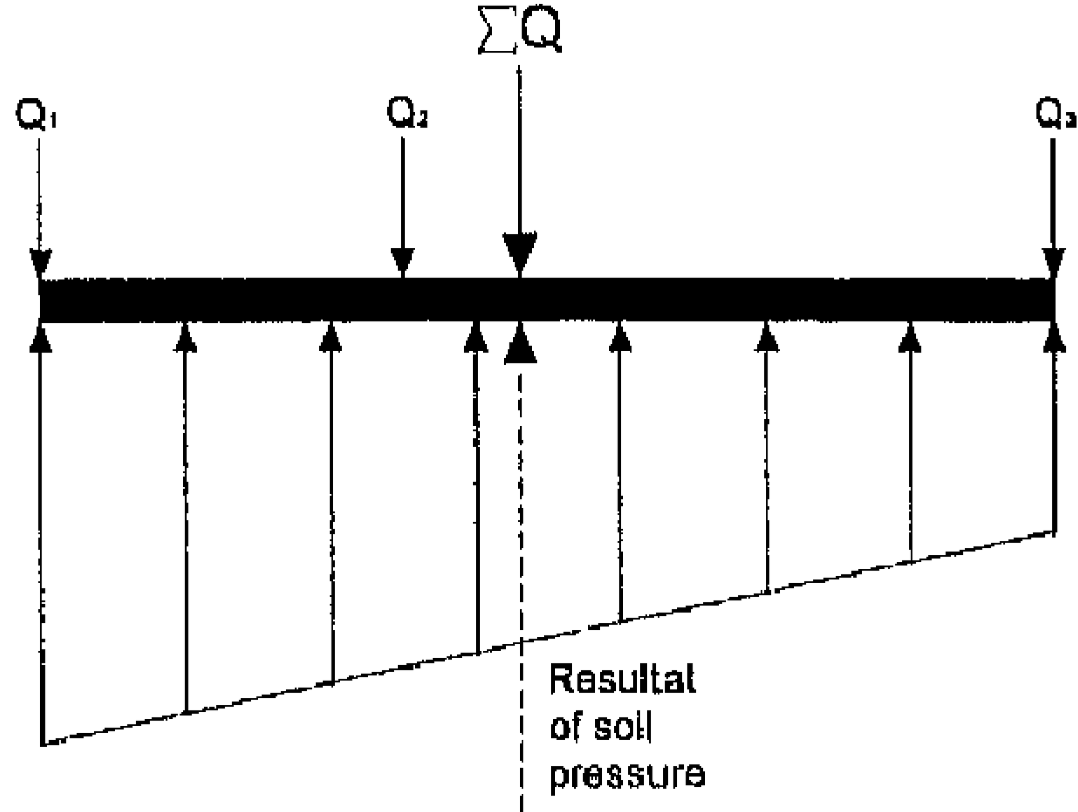
K_s معامل رد فعل التربة (ton/m^3)

E معامل مرونة مادة الأساس (ton/m^2)

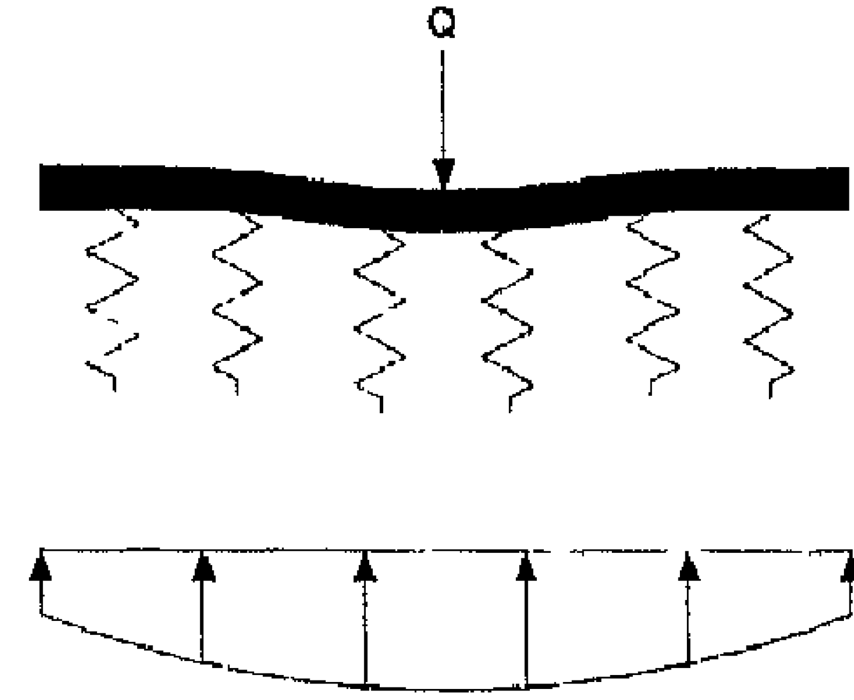
(٥,٢,٢) الطريقة التقريبية المرنة Approximate Flexible Method

يفترض في هذه الطريقة أن الحصيرة مرنة (قابلة للتشوه) وأن التربة مماثلة لعدد غير محدود من النوابض المرنة elastic springs وتسمى أيضًا Winkler springs، (انظر الشكل رقم ٥,٣ b).

تتعلق صلابة تلك النوابض بمعامل رد فعل التربة Coefficient of sub grade reaction K_s، (انظر الفقرة ١,٤). يعتمد حساب القوى الداخلية في الحصيرة باستخدام هذه الطريقة على تقرير منطقة التأثير حول العمود وذلك حسب عدة عوامل تتعلق بحمل العمود ودرجة مرونة الحصيرة، ومن ثم يتم حساب القص وعزم الانحناء لنقطة ما بجوار العمود من خلال علاقات رياضية خارجة عن نطاق هذا الكتاب ويمكن الاطلاع عليها في المراجع المختصة مثل (Das, 1995).



(a): uniform distribution of soil reaction under rigid raft



(b): Spring representaion of soil under flexible raft & soil reaction redistribution

الشكل رقم (٥,٣). تمثيل الحصيرة والتربة: (a) توزع منتظم للإجهاد تحت حصيرة جاسئة، (b) تمثيل التربة تحت حصيرة مرنة بنوابض، from [2].

(٥,٢,٣) طريقة العناصر المحدودة Finite Element Method

تعتمد هذه الطريقة على نمذجة الحصيرة بتقسيمها إلى عدد محدود من العناصر المحددة. ففي حال كون الحصيرة عبارة عن بلاطة منبسطة Flat Slab يمكن استخدام عناصر صفائحية رباعية quadrilateral shell elements لكل عنصر أربع عقد مع اعتبار كل عقدة لها ثلاث درجات حرية 3 degrees of freedom وهي انتقال عمودي 'U3' ودوارانين حول x, y وهما 'R1, R2' ، (انظر الشكل رقم ٥,٤ a). يتم تمثيل استناد هذه العقد على التربة بنوابض مرنة Elastic Springs و يتم إدخال معامل صلابة النوابض Spring Stiffness حسب مواصفات التربة، ومن ثم إيجاد الجهود في عناصر الحصيرة. يتم حساب صلابة النابض spring stiffness بضرب معامل رد فعل التربة بمساحة القطاع المحدد بجوار العقدة (في حال كون العناصر منتظمة تكون صلابة نابض عقدة وسطية تساوي جداء مساحة العنصر بمعامل رد فعل التربة، وتكون صلابة نابض عقدة طرفية

نصف صلابة نابض عقدة وسطية، وصلابة نابض عقدة ركنية تساوي ربع صلابة نابض عقدة وسطية)، (انظر الشكل رقم ٥,٤ b).

$$SS = K_s \times A_t \quad (5.4)$$

حيث إن:

SS صلابة النابض ويقدر بـ KN/m

K_s معامل رد فعل التربة (KN/m^3)

Tributary Area A_t مساحة القطاع المحدد بجوار العقدة (m^2)

التحقق من تحمل التربة

يمكن الحصول على قيمة إجهاد ضغط التربة (ضغط التماس على التربة) Soil contact pressure للمقارنة مع قيمة تحمل التربة Bearing capacity بطريقتين:

$$q = \Delta \times K_s \quad (5.5)$$

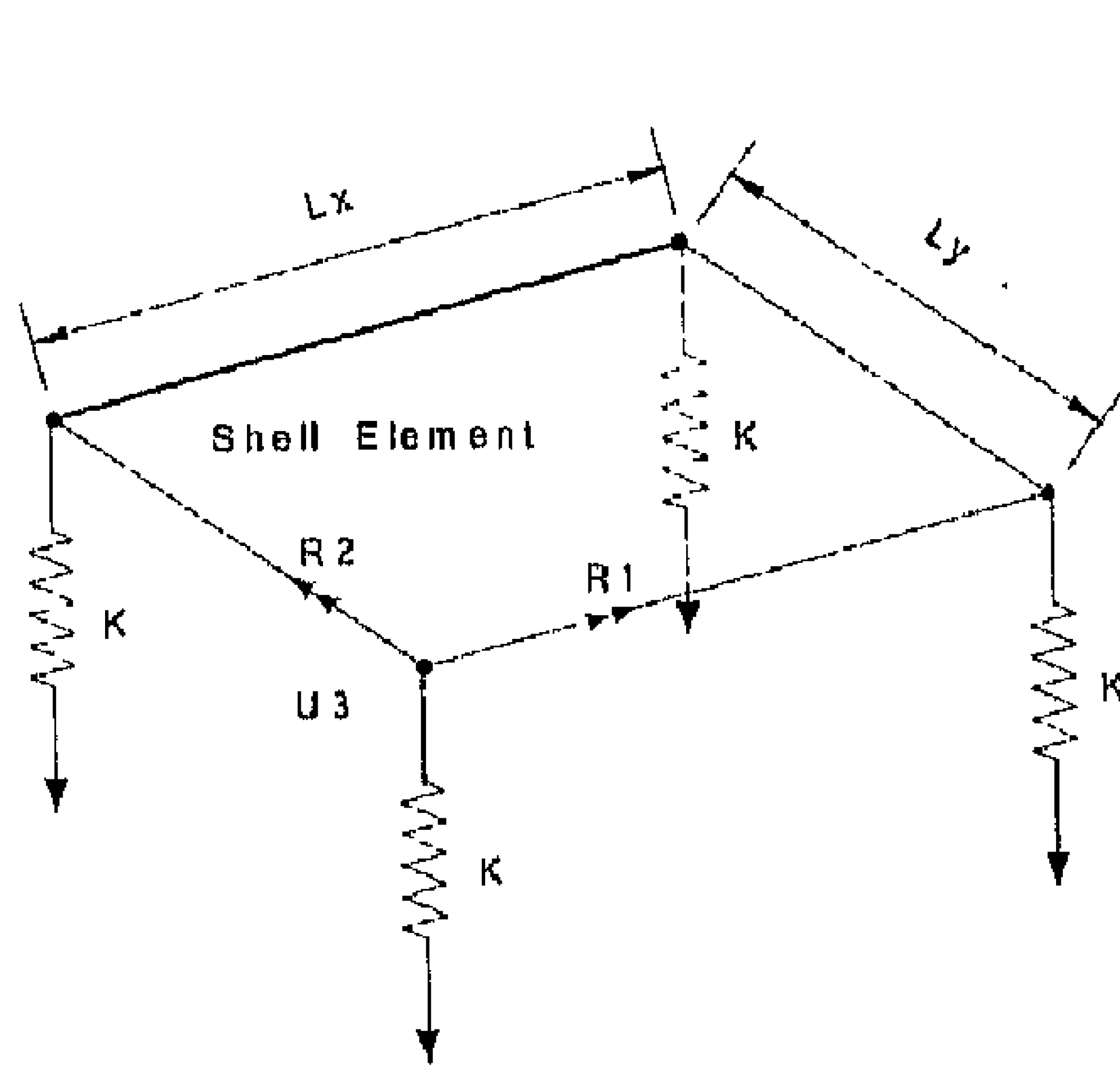
$$q = R / A_t \quad (5.6)$$

حيث إن:

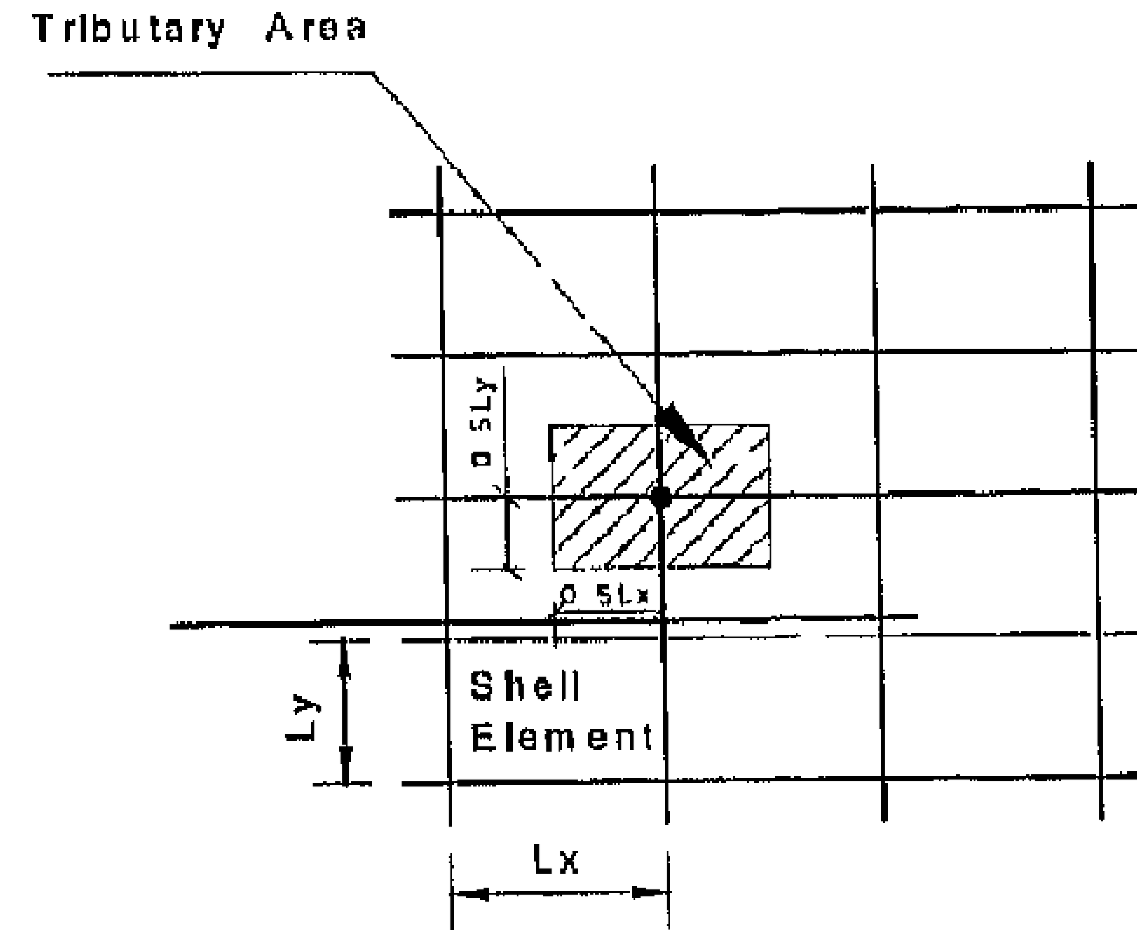
q إجهاد ضغط التربة.

Δ الهبوط الناتج عن الأحمال الميتة والحية غير المصعدة (يمكن كذلك التحقيق على أحمال الجاذبية مركبة مع أحمال الرياح أو الزلازل) في النقطة (العقدة) المطلوب حساب الضغط فيها.

R رد الفعل في النقطة (العقدة) المطلوب حساب الضغط فيها.



a) spring representation of soil



b) Tributary area of interior node

الشكل رقم (٥,٤). تمثيل الحصيرة باستخدام العناصر المحدودة: (a) تمثيل نابضي للتربة، (b) القطاع المحدد لعقدة وسطية.

(٥,٣) الطريقة الكلاسيكية الجاسئة – خطوات تفصيلية، (Das, 1995)

Conventional Rigid Method – Detailed Procedure

فيما يلي إجراء تفصيلي لتصميم حصيرة باستخدام الطريقة الكلاسيكية الجاسئة، (انظر الشكل رقم ٥,٥ a) الذي يبين مسقطاً لحصيرة عامة على شكل بلاطة مسطحة بارتفاع ثابت قدره h.

١– حساب محصلة القوى P_{total}، واللامركزية بالاتجاهين e_x, e_y.

٢– إيجاد قيم إجهاد الضغط على التربة في جميع زوايا الحصيرة ومقارنتها مع تحمل التربة، تستخدم العلاقة التالية رقم (5.7) في حال كون الحصيرة منتظمة (لها محور تناظر واحد على الأقل مار من مركز الكتلة)، في حالة الحصيرة غير المنتظمة، تستخدم العلاقة (27) من الفصل الثالث.

$$q=\frac{P_{total}}{A}+\frac{yMx}{I_x}+\frac{xMy}{I_y} \qquad (5.7)$$

$$Mx=P_{total}\times e_y \qquad (5.8)$$

$$My=P_{total}\times e_x \qquad (5.9)$$

حيث إن:

A مساحة الحصيرة ، I_x, I_y عزم عطالة الحصيرة حول المحور x ، y على التوالي.

Mx, My عزم محصلة القوى حول المحور x ، y على التوالي.

٣- تقسيم الحصيرة إلى شرائح بالاتجاهين x, y مثل الشريحة "abcd" بالاتجاه x ذات العرض B1.

٤- تحميل كل شريحة بأحمال الأعمدة المعدلة ومتوسط رد فعل التربة المعدل q_{avm} ، (انظر الشكل رقم ٥,٥ b)، إن متوسط رد فعل التربة عل الشريحة "abcd" هو :

$$q_{av}=(q_a+q_b+q_c+q_d)/4 \qquad (5.10)$$

حيث إن :

q_a, q_b, q_c, q_d إجهاد التربة في النقاط a, b, c, d على التوالي.

وعلى اعتبار أن مجموع أحمال الأعمدة في الشريحة ΣP لا يساوي رد فعل التربة $B1.q_{av}$ فيجب حساب أحمال الأعمدة المعدلة ورد فعل التربة المعدل لكل شريحة :

$$P_{av} = (q_{av}\times B1\times B+P1+P2+P3+P4)/2 \qquad (5.11)$$

$$q_{avm} = \frac{P_{av}}{B} \qquad (5.12)$$

$$F=\frac{P_{av}}{P1+P2+P3+P4} \qquad (5.13)$$

$$Pi_m=Pi\times F \qquad (5.14)$$

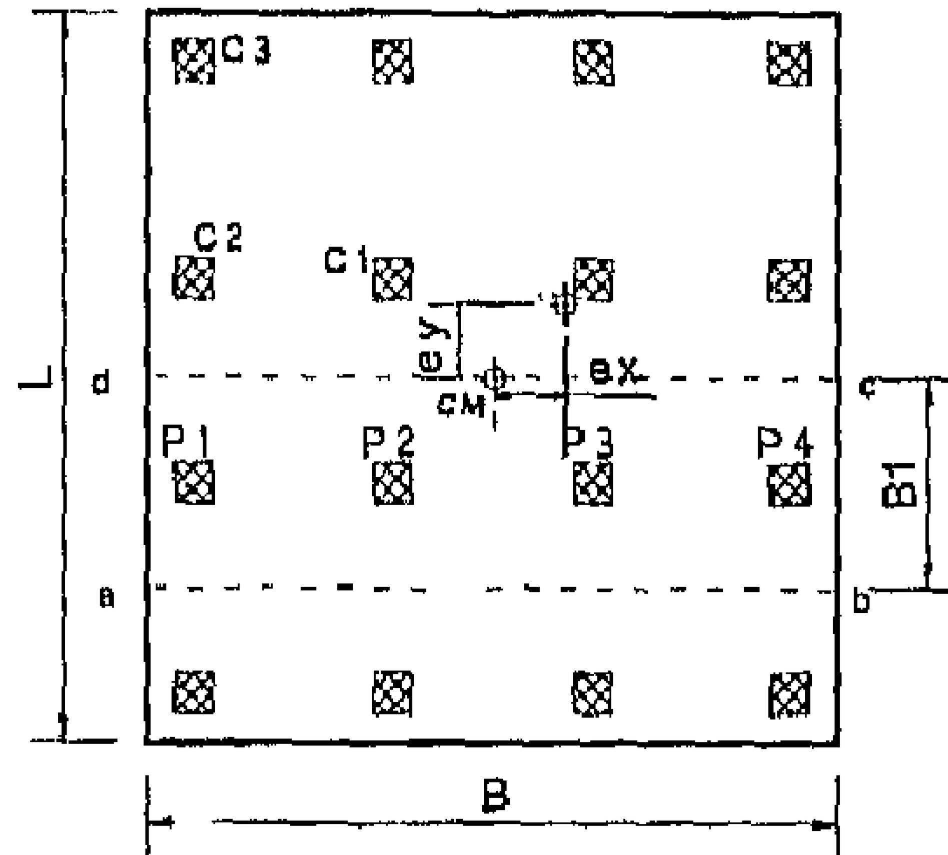
حيث إن :

P_{av} هو متوسط الأحمال في الشريحة.

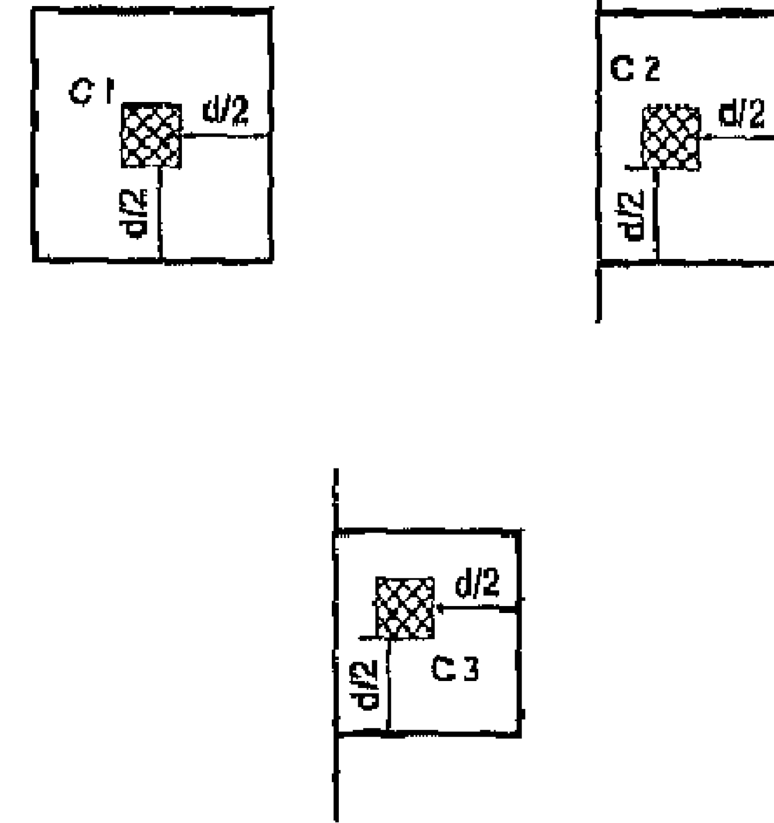
q_{avm} متوسط رد فعل التربة المعدل.

F معامل تصحيح أحمال الأعمدة في الشريحة.

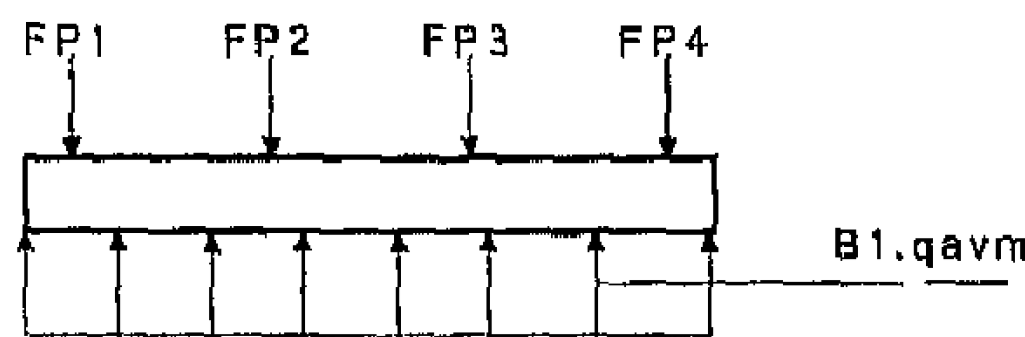
Pi القوة ذات الرقم i، Pi_m القوة المعدلة ذات الرقم i.



(a): Plan of flat slab raft



(c): Crtical section for 2-way shear at different column locations



(b): Free body diagram of Strip abcd

الشكل رقم (٥,٥). تحليل حصيرة بالطريقة الجاسئة: (a) مسطح حصيرة نوع بلاطة منبسطة، (b) مخطط الجسم الطليق للشريحة abcd، (c) حدود المقطع الحرج للقص بالثقب ثنائي الاتجاه لعدة حالات أعمدة.

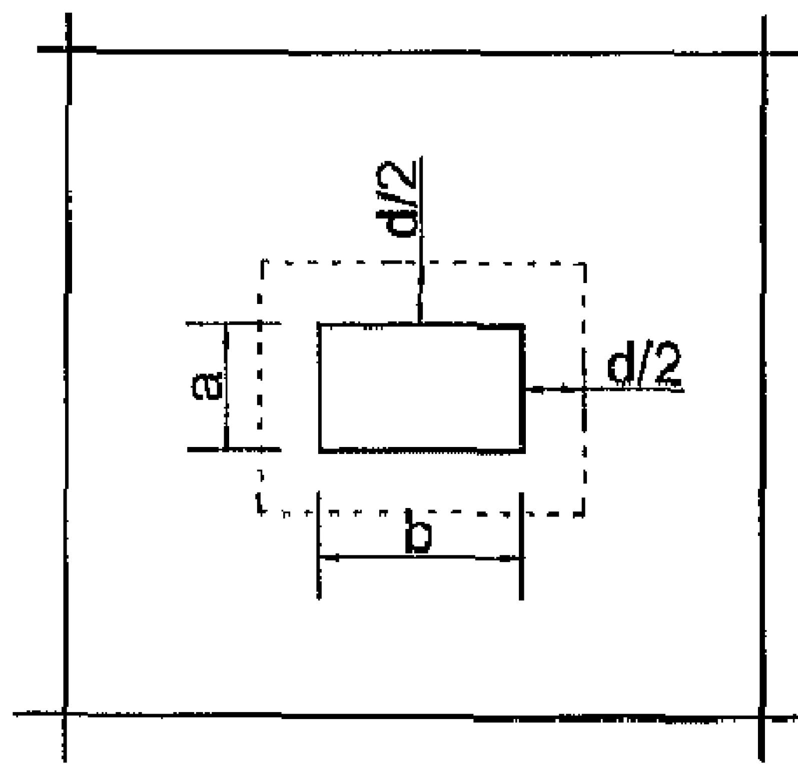
٥- رسم مخطط القص وعزم الانحناء لكل شريحة باعتبار الأحمال المعدلة ومتوسط رد فعل التربة المعدل.

٦- التحقق من كون ارتفاع الحصيرة كافيًا لمقاومة القص ثنائي الاتجاه بجوار الأعمدة مع الانتباه إلى أن حدود المقطع الحرج بالنسبة للقص ثنائي الاتجاه يختلف حسب موقع العمود (ركني، طرفي، وسطي)، (انظر الشكل رقم ٥,٥ c وانظر كذلك إلى العلاقات 2.4 -2.6) في الفصل الثاني.

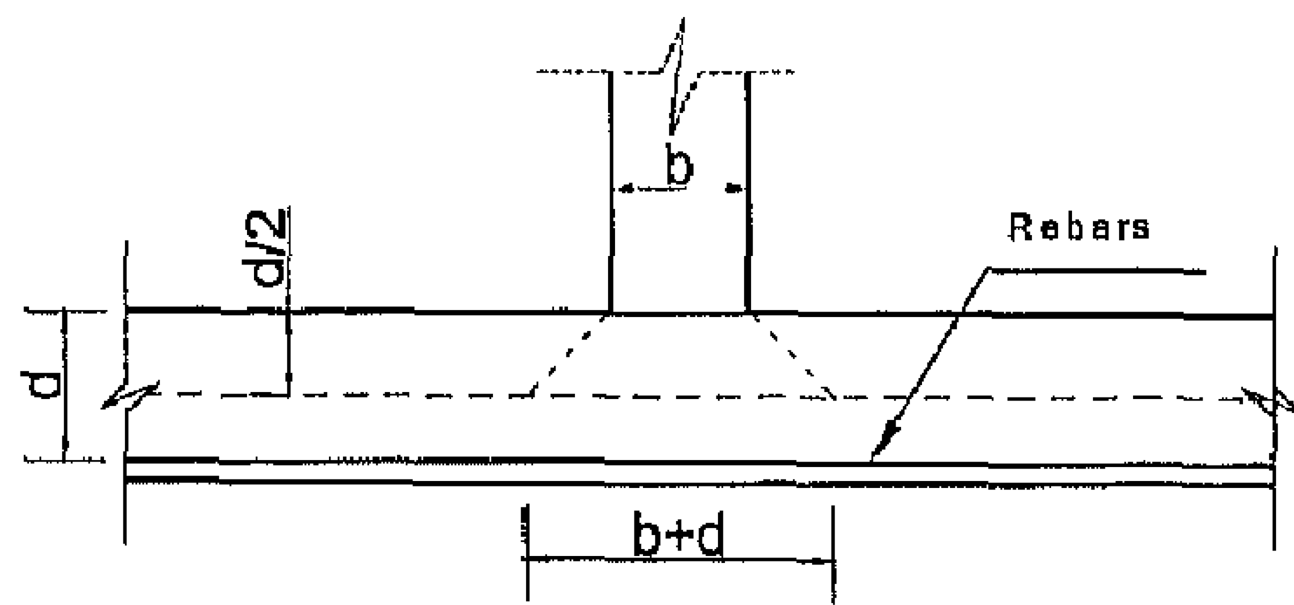
٧- يتم حساب التسليح السفلي والعلوي لمقاومة عزم الانحناء مع مراعاة نسبة التسليح الدنيا والقصوى، (انظر الفقرة ٣,٦,١).

(٥,٤) خصائص نمذجة الحصائر
Characteristics of Raft Modeling

١- لا يفضل إدخال أحمال الأعمدة (القوى الرأسية) كقوة نقطية مركزة بل توزع على مساحة ذات بعدين يزيد كل منهما عن بعدي مقطع العمود بمقدار d/2، حيث إن d هو الارتفاع الفعال للحصيرة، (انظر الشكل رقم ٥,٦)، (القصيبي، ١٩٩٥م).



(a): Plan View
(column and raft)



(b): Section of a column & Raft foundation

الشكل رقم (٥,٦). منطقة تأثير حمل العمود: (a) مسقط أفقي – عمود + حصيرة، (b) مقطع للعمود مع الحصيرة.

٢- لا يفضل إدخال العزوم المطبقة على الحصيرة كقوى مركزة بل توزع على عدة عقد، بحيث تكون قوى متعاكسة على يمين ويسار العقدة المركزية لتولد مزدوجة عزم، (انظر الملحق A1).

٣- في حال وجود جدران مسلحة قصية أو غيرها للطابق الذي فوق الحصيرة مباشرة ويراد تشغيلها كجسر عميق Deep Beam يمكن نمذجة هذه الجدران باستخدام عنصر إطاري Beam element على أن يتم تصميميها باعتبارها جسرًا عميقًا وليست كمرة عادية.

٤- في حال وجود جسور مقلوبة Inverted beam أو جسور ساقطة Drop beam في الحصيرة يمكن نمذجتها أيضًا باستخدام Frame element.

٥- في حال كون الحصيرة تحت مستوى المياه الجوفية يجب أخذ حمل الرفع Uplift Load بعين الاعتبار والتأكد من أن وزن المنشأ (أحمال ميتة) أكبر على الأقل بمرة ونصف من حمل الرفع المائي.

(٥,٥) ارتباط النوابض
Spring Coupling

يتم تمثيل التربة في نموذج لحصيرة باعتماد طريقة العناصر المحدودة على أساس نابض تحت كل عقدة من عقد عناصر الحصيرة، (انظر الشكل رقم ٥,٧ a). بنتيجة هذا التمثيل سينشأ هبوط متماثل Constant settlement للحصيرة على الغالب، وهذا يتنافى مع السلوك الحقيقي لهبوط الحصيرة تحت الأحمال الرأسية الذي يكون على شكل صحن، وذلك في حال تعرض الحصيرة لأحمال رأسية مركزية موزعة بانتظام. يمكن تحسين سلوك الحصيرة بإضافة نوابض قطرية تربط قطريا بين العقد وذلك لتمثيل أفضل لسلوك التربة، (انظر الشكل رقم ٥,٧ b) ولكن هذا يحتاج إلى جهد كبير. على كل حال

يمكن الاستعاضة عن ارتباط النوابض المباشر (النوابض القطرية) بطريقتين: الأولى تدعى ارتباط بوسنسك Boussinesq Coupling والثانية مضاعفة صلابة النوابض المحيطية، وكلتا الطريقتين مشروحتان في الفقرتين التاليتين (ACI336.2R88, 2002), (Bowles, 2003).

(٥,٥,١) ارتباط النوابض بطريقة بوسينسك

Spring Coupling Using Boussinesq Method

يتم تمثيل ارتباط النوابض بطريقة بوسنسك بتقسيم الحصيرة إلى ثلاثة قطاعات (قطاع مركزي Central zone، قطاع وسطي Interior zone وقطاع محيطي External zone) أو أكثر، (انظر الشكل رقم ٥,٧ c). سيختص كل قطاع بقيمة لمعامل رد فعل التربة Modulus of sub-grade reaction تتراوح من قيمة K_s المحسوبة وفق العلاقة (4.1) من الفصل الأول إلى قيم أقل K_{si} باتجاه الداخل. هذه القيم تحسب على أساس معدل الضغط في التربة على عمق تأثير حوالي 3B – 5B تحت الحصيرة (حيث B هي عرض الحصيرة) باستخدام مخطط بصلة الضغط Bulb pressure وفق العلاقة التالية:

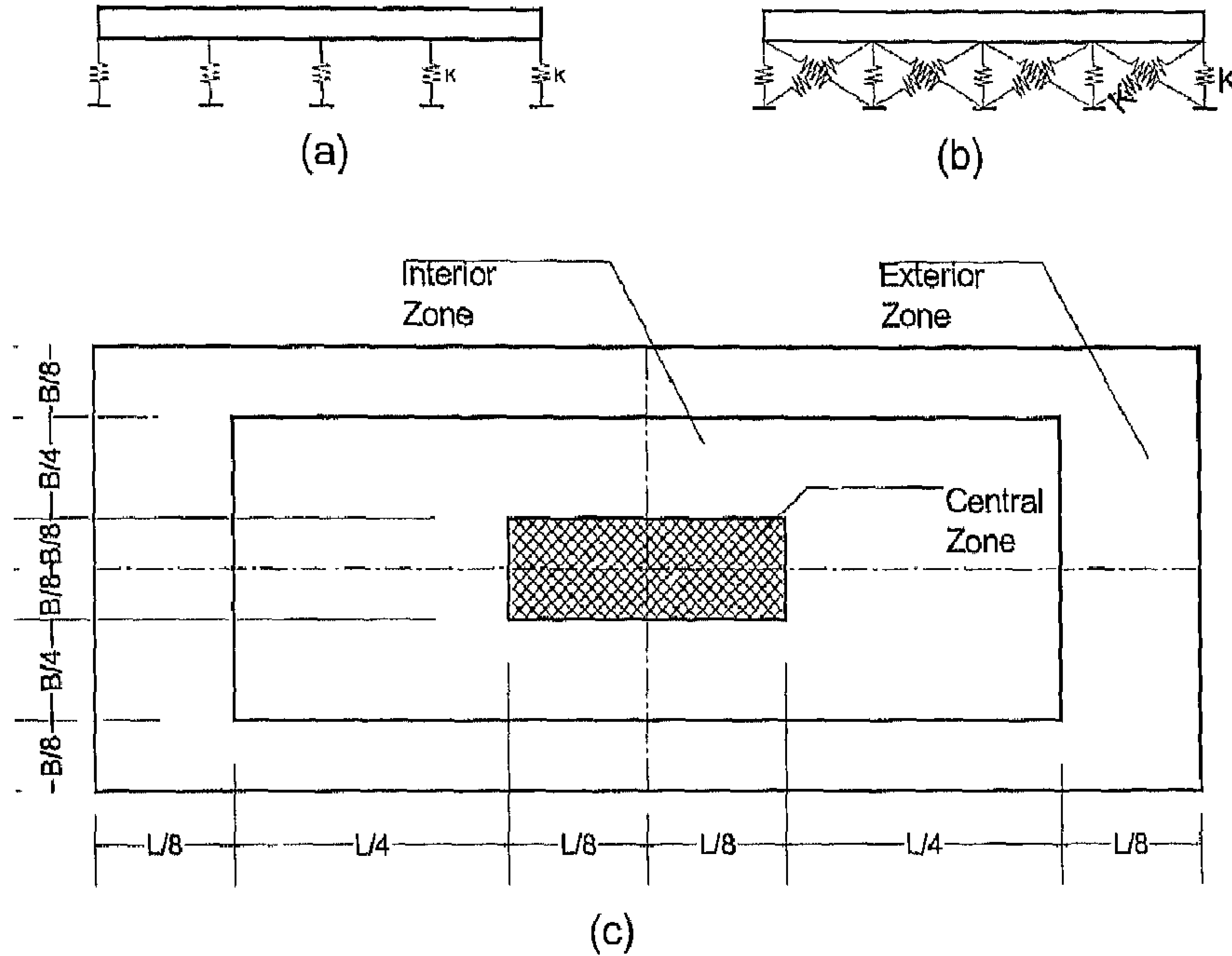
$$K_{si} = K_s(DQ_e / DQ_i) \qquad (5.15)$$

حيث إن:

K_{si} معامل رد فعل التربة في القطاع الوسطي Interior والمركزي Central للحصيرة.

K_s معامل رد فعل التربة حسب العلاقة (4.1).

DQ_e, DQ_i معدل الضغط في العقدة الطرفية Exterior والوسطية Interior على التوالي، وذلك على عمق تأثير يساوي 3-5 B تحت الحصيرة، يمكن الحصول على قيمة كل من DQ_e و DQ_i من المرجع (ACI336.2R88, 2002) أو من تقرير ميكانيكا التربة، (انظر الملحق A5).



الشكل رقم (٥,٧). ارتباط النوابض: (a) نموذج بنوابض منفصلة، (b) نموذج بنوابض مرتبطة، (c) تقسيم الحصيرة لثلاث قطاعات.

(٥,٥,٢) مضاعفة النوابض المحيطية Doubling Edge Springs

هذه طريقة بديلة عن طريقة Boussinesq السابقة، وتتلخص هذه الطريقة بمضاعفة قيم صلابة النوابض للعقد المحيطية، وهذا ما يؤدي إلى أثر مشابه لطريقة Boussinesq، (ACI336.2R88, 2003) حيث إن تخفيض قيمة معامل رد فعل التربة في القطاعات الداخلية مشابه لزيادة مقاومة التربة على أطراف الحصيرة، وتعتبر هذه الطريقة سهلة جدًا مقارنة مع طريقة Boussinesq وتعطي نتائج مقبولة كما سنرى في المثال (٥,٣).

(٥,٦) الحصائر الدائرية

Circular Rafts

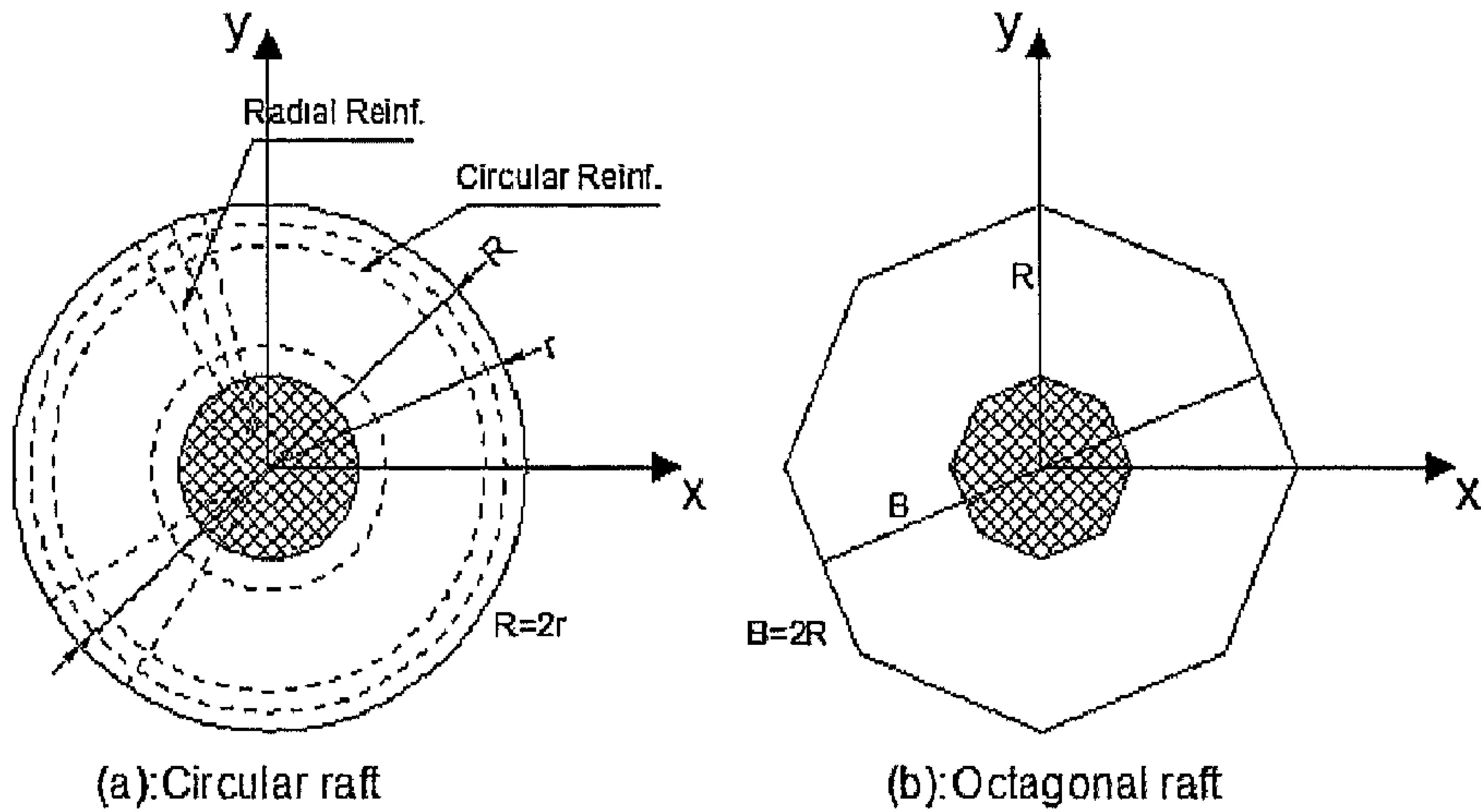
تستعمل الحصيرة الدائرية بشكل رئيس في أساسات الخزانات والمداخن، وبعض المنشآت الصناعية، (انظر الشكل رقم ٥,٨). بالنسبة لحساب إجهاد ضغط التربة تحت الحصيرة الدائرية فتتم معاملتها معاملة الحصيرة العادية أي وفق المعادلة التالية:

$$q=\frac{P}{A}+\frac{M_x}{I_x}y+\frac{M_y}{I_y}x \qquad (5.16)$$

حالة حصيرة دائرية (الشكل رقم ٥,٨ a):

$$A=\pi R^2 \qquad (5.17)$$

$$I_x=I_y=\pi R^4/4 \qquad (5.18)$$



الشكل رقم (٥,٨). الحصائر الدائرية: (a) حصيرة دائرية مع شكل التسليح، (b) حصيرة مثمنة.

حالة حصيرة مثمنة (الشكل رقم ٥,٨ b) :

$$A=0.828B^2 \quad (5.19)$$

$$I_x=I_y=0.6381R^4 \quad (5.20)$$

حيث إن :

A مساحة الحصيرة

Mx, My العزم المطبق حول المحور X ، Y على التوالي.

Ix, Iy عزم العطالة حول المحور X ، Y على التوالي.

x البعد الأفقي من مركز الإحداثيات إلى النقطة المطلوب حساب الإجهاد فيها.

y البعد العمودي من مركز الإحداثيات إلى النقطة المطلوب حساب الإجهاد فيها.

يجب الانتباه إلى أن استخدام العلاقة (5.16) مقيد بشرط أن تكون اللامركزية أقل من ثمن قطر الدائرة أو المثمن ، (انظر العلاقتين 5.21 ,5.22) وفي حال عدم تحقق ذلك ستتعرض التربة إلى شد ويحصل فصل بين التربة والأساس.

$$e < R/8 \quad (5.21)$$

$$e < B/8 \quad (5.22)$$

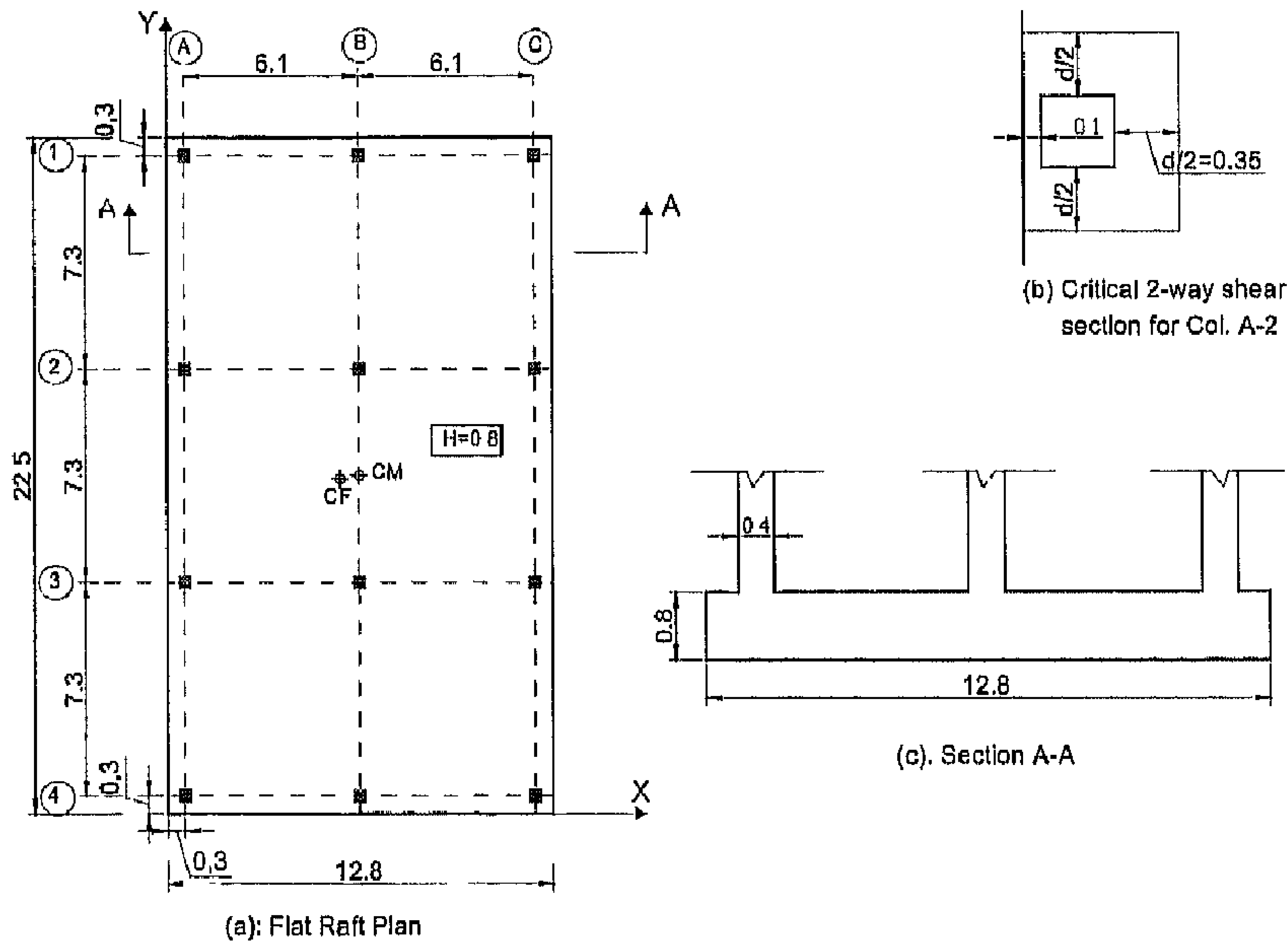
أما بالنسبة للتحليل الإنشائي للحصيرة الدائرية فيوجد معلومات قليلة عن الحل النظري لبلاطة دائرية على نوابض. تقدم بعض المراجع مثل [15] حلا لبلاطة دائرية ذات استناد بسيط من الأطراف وكذلك بلاطة دائرية موثوقة عند أطرافها ، وفي كلتا الحالتين البلاطة لا تستند على نوابض ؛ لذا من الأفضل استخدام أحد برامج التحليل الإنشائي باستخدام العناصر المحدودة لتصميم الحصائر الدائرية. تسلح الحصيرة الدائرية بتسليح شعاعي .Radial Reinf وتسليح قوسي .Tangential reinf ، (انظر الشكل رقم ٥,٨ a) وذلك

باستخدام طبقتين علوية وسفلية، وعلى اعتبار كثافة القضبان عالية قرب المركز يمكن قطع القضبان في دائرة معينة قرب المركز ووضع شبكة تسليح مربعة، (انظر الملحق C6).

(٥,٧) أمثلة تطبيقية
Application Examples

المثال (٥,١): حصيرة بلاطة منبسطة Flat Raft Foundation

يطلب تصميم حصيرة "بلاطة منبسطة ذات مقطع منتظم"، (انظر الشكل رقم ٥,٩) مع العلم أن الأحمال التي تنقلها الأعمدة إلى الأساس (ميتة + حية) موضحة في الجدول رقم (٥,١)، وأن جميع الأعمدة بمقطع 40×40 cm وتحمل التربة المسموح الصافي q_{an} = 50 KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa، نعتبر معامل تصعيد الأحمال f1=1.35، (انظر الملحق B1).



الشكل رقم (٥,٩). حصيرة بلاطة منبسطة: (a) مسقط الحصيرة نوع بلاطة مسطحة، (b) حدود مقطع القص ثنائي الاتجاه للعمود A-2، (c) المقطع A-A.

الجدول رقم (١,٥). أحمال الأعمدة (ميتة + حية).

Col	A-1	B-1	C-1	A-2	B-2	C-2	A-3	B-3	C-3	A-4	B-4	C-4
P=D+L (KN)	380	490	430	1460	1460	1110	1460	1460	1110	380	490	400

الغاية من المثال

تصميم حصيرة بلاطة منبسطة ذات ارتفاع منتظم بالطريقة الجاسئة، وطريقة العناصر المحدودة، ومقارنة النتائج، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE, SAP، خطوات النمذجة التفصيلية، موضحة في الملحق B3، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

١- الطريقة الجاسئة (النموذج التحليلي M1)

الخطوة الأولى: إيجاد موقع محصلة القوى واللامركزية بالاتجاهين

$$\Sigma P= 2\times380+2\times490+400+430+4\times1460+2\times1110=10630 \text{ KN}$$

$$x_{CF}=[0.3\times(380\times2+1460\times2)+6.4\times(490\times2+1460\times2)+12.5\times(400+1110\times2+430)]/10630= 6.04 \text{ m}$$

$$e_x=x_{CF}-x_{CM}=6.04-(12.8/2)=-0.36 \text{ m}$$

$$y_{CF}=[(0.3\times(380+490+400)+7.6\times(1460\times2+1110)+14.9\times(146\times2+1110)+22.2\times(380+490+430)]/10630= 11.28 \text{ m}$$

$$e_y=y_{CF}-y_{CM}=11.28-(22.5/2)= 0.03 \text{ m}$$

الخطوة الثانية : حساب الضغط على التربة في نقاط زوايا الحصيرة

$$M_x = \Sigma P \times e_y = 10630 \times (0.03) = 318.9 \text{ KN.m}$$

$$M_y = \Sigma P \times e_x = 10630 \times (-0.36) = -3826.8 \text{ KN.m}$$

$$q_a = \frac{P_{total}}{A} + \frac{M_x y}{Ix} + \frac{M_y x}{Iy}$$

$$I_x = 12.8 \times 22.5^3/12 = 12150 \text{ m}^4$$

$$I_y = 22.5 \times 12.8^3/12 = 3932.16 \text{ m}^4$$

نحسب الوزن الإجمالي على التربة (أحمال الأعمدة + فرق وزن الخرسانة عن تربة الردم) مع الافتراضات التالية

عمق الحصيرة : $h=0.8$ m.

كثافة الخرسانة : $\gamma_c=25$ KN/m^3.

كثافة التربة : $\gamma_{soil}=18$ KN/m^3 .

$$P_{total} = 10630 + 22.5 \times 12.8 \times (25-18) \times 0.8 = 12242.8 \text{ KN}$$

بتعويض القيم المناسبة في المعادلة (5.7) نجد أن

$$q_i = \frac{12242.8}{12.8 \times 22.5} + \frac{318.9}{12150} y - \frac{3826.8}{3932.16} x$$

انظر الجدول رقم (٥,٢) الذي يبين الإجهاد على التربة في نقاط مختارة من الحصيرة مع الانتباه إلى أن إحداثيات النقاط x, y تعتبر بالنسبة لمركز ثقل الأساس ،

(انظر الشكل رقم ٥,١٠). من خلال الجدول رقم (٥,٢) يتبين أن الإجهاد محقق في جميع النقاط – يكفي من أجل التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة تحقيق الإجهاد في زوايا الحصيرة الأربع أي:

$$q < q_{an} \text{ (@ points A, B, C, D)}$$

الجدول رقم (٥,٢). الإجهاد في زوايا الشرائح.

النقطة	x (m)	y (m)	q (KN/m^2)	النقطة	x (m)	y (m)	q (KN/m^2)
A	-6.4	-11.25	48.4	**H**	3.05	11.25	39.8
B	-6.4	11.25	49	**I**	-6.4	3.65	48.9
C	6.4	11.25	36.6	**J**	6.4	3.65	36.5
D	6.4	-11.25	36	**K**	-6.4	0	48.7
E	-3.05	-11.25	45.2	**L**	6.4	0	36.3
F	3.05	-11.25	39.2	**M**	-6.4	-3.65	48.5
G	-3.05	11.25	45.8	**N**	6.4	-3.65	36.1

الخطوة الثالثة: تقسيم الحصيرة إلى شرائح بالاتجاهين

تم تقسيم الحصيرة إلى ثلاث شرائح بالاتجاه Y وأربع شرائح بالاتجاه X وفق ما يلي، (انظر الشكل رقم ٥,١٠):

الشريحة I بعرض B=3.35 m

الشريحة II بعرض B=6.1 m

الشريحة III بعرض B=3.35 m

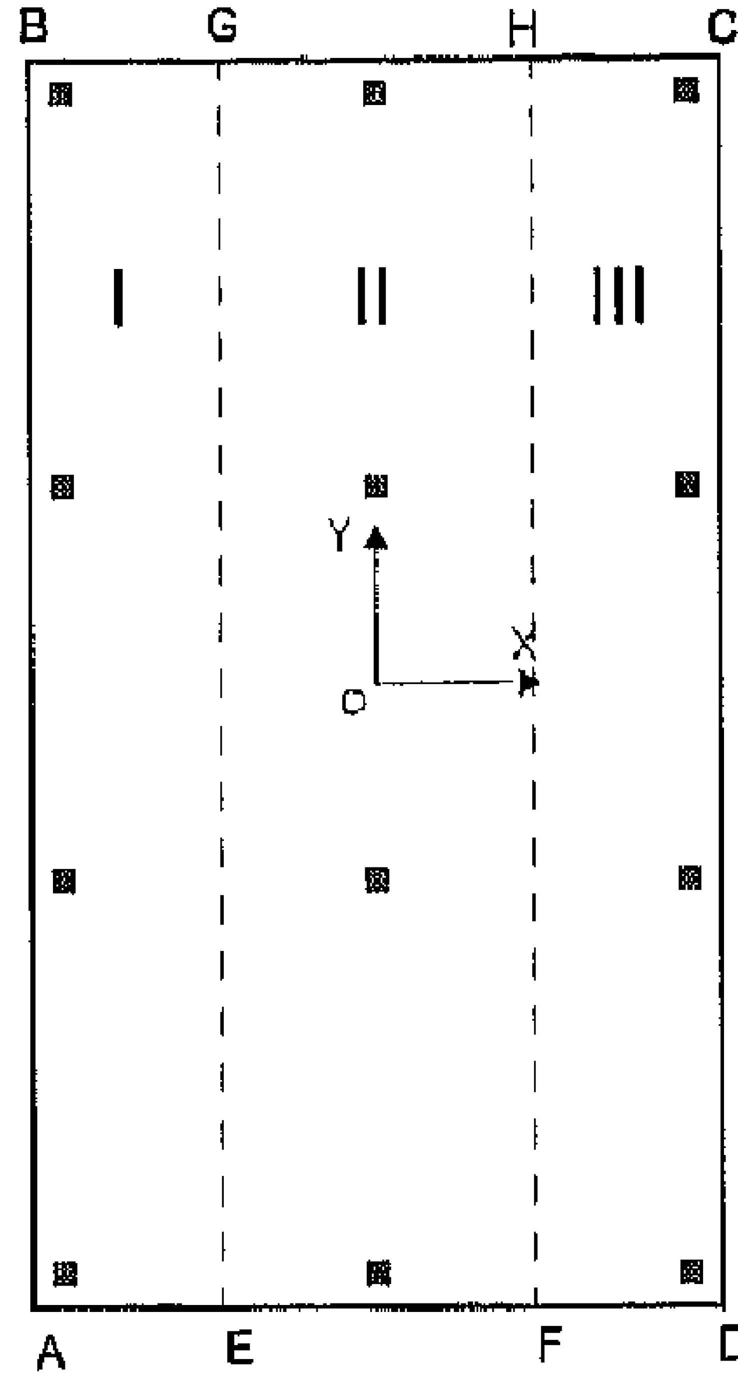
الشريحة IV بعرض B=3.95 m

الشريحة V بعرض B=7.3 m

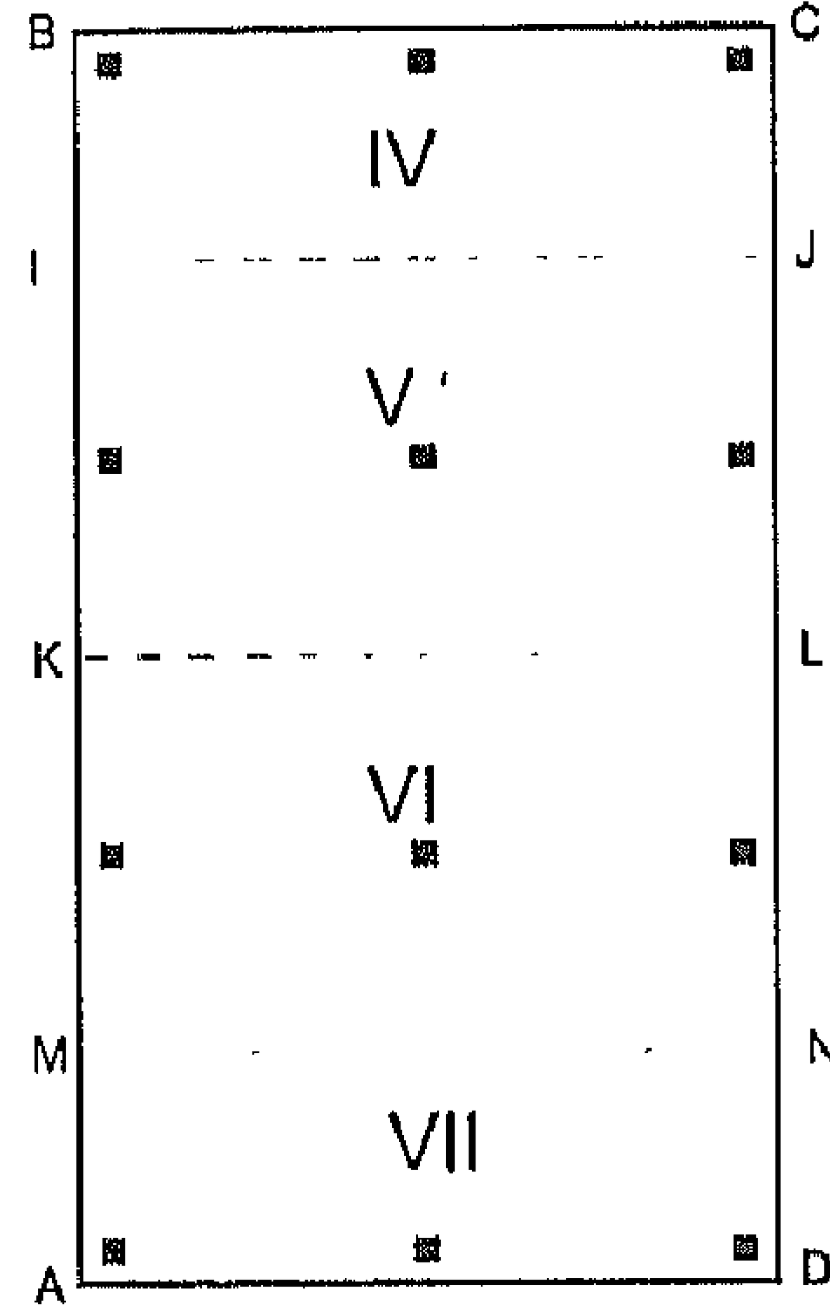
الشريحة VI بعرض B=7.3 m

الشريحة VII بعرض B=3.95 m

الخطوتان الرابعة والخامسة: تحميل كل شريحة بأحمال الأعمدة المعدلة ورد فعل التربة المعدل ورسم مخطط القص وعزم الانحناء للشرائح (تم اختيار ٤ شرائح فقط).



(a): Y strips diagram



(b): X strips diagram

الشكل رقم (٥,١٠). مخططا الشرائح بالاتجاهين X, Y: (a) مخطط الشرائح بالاتجاه Y، (b) مخطط الشرائح بالاتجاه X.

الشريحة I (الشكل رقم ٥,١١)

نحسب ضغط التربة الوسطي (بعد حذف الضغط الناتج عن فرق وزن الخرسانة عن التربة)، (انظر الجدول رقم ٥,٢)

$$q_{av}=(44.8+49+45.2+45.8)/4-(25-18)\times 0.8=41\ KN/m^2$$

إجمالي رد فعل التربة على الشريحة I

$$R=41\times 22.5\times 3.35=3090\ KN$$

مجموع أحمال الأعمدة في الشريحة I

$$\Sigma P=380+1460+1460+380=3680\ KN$$

الحمل المتوسط

$$P_{av}=1/2\times(3090+3680)=3385\ KN$$

معامل التخفيض لأحمال الأعمدة

$$F=3385/3680=0.92$$

أحمال الأعمدة المعدلة

$$P1=P4=380\times0.92=350\ KN$$

$$P2=P3=1460\times0.92=1343\ KN$$

رد فعل التربة المعدل على المتر الطولي في الشريحة I

$$q_{avm}=3385/22.5=150.4\ KN/m$$

الشريحة II (الشكل رقم ٥,١٢)

نحسب ضغط التربة الوسطي (بعد حذف الضغط الناتج عن فرق وزن الخرسانة عن التربة)، (انظر الجدول رقم ٥,٢)

$$q_{av}=(45.8+39.8+45.2+39.2)/4-(25-18)\times0.8=36.9\ KN/m^2$$

إجمالي رد فعل التربة على الشريحة I

$$R=36.9\times22.5\times6.1=5064\ KN$$

مجموع أحمال الأعمدة في الشريحة I

$$\Sigma P=490+1460+1460+490=3900\ KN$$

الحمل المتوسط

$$P_{av}=1/2\times(5064+3900)=4482\ KN$$

معامل التخفيض لأحمال الأعمدة

$$F=4482/3900=1.149$$

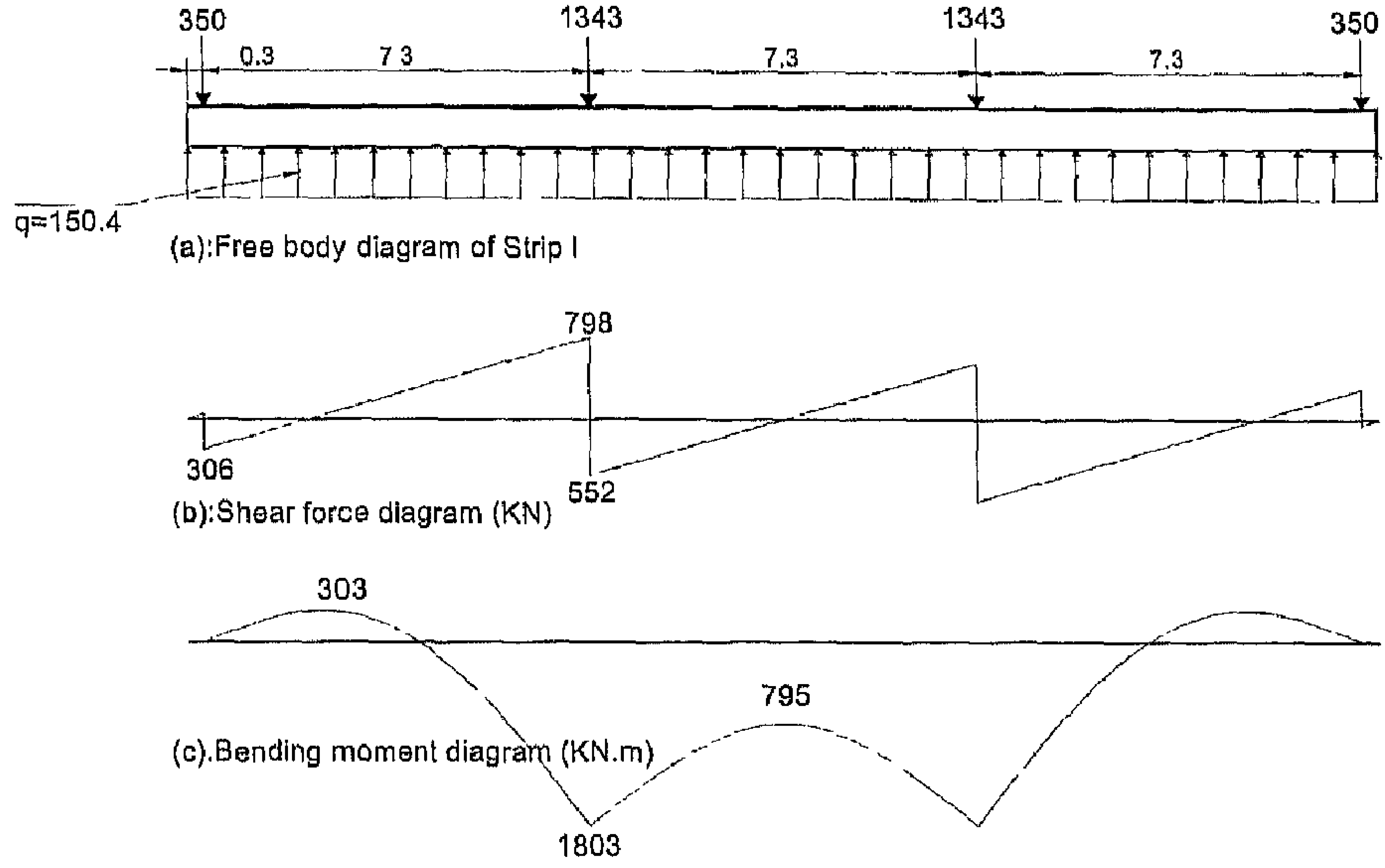
أحمال الأعمدة المعدلة

$$P1_m=P4_m=490\times1.149=563\ KN$$

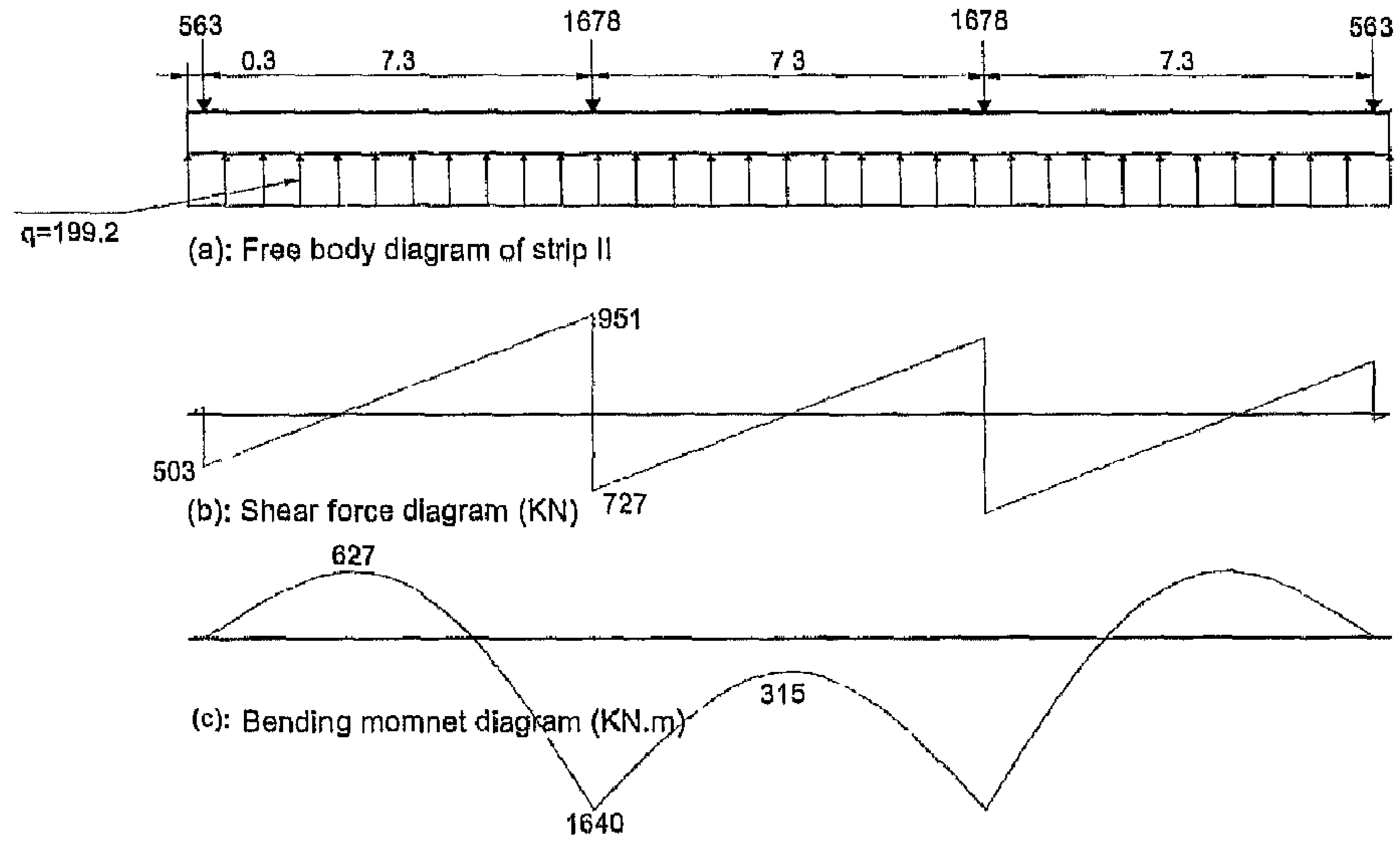
$$P2_m=P3_m=1460\times1.149=1678\ KN$$

رد فعل التربة المعدل على المتر الطولي في الشريحة II

$$q_{avm}=4482/22.5=199.2\ KN/m$$



الشكل رقم (٥,١١). تحليل الشريحة I: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.



الشكل رقم (٥,١٢). تحليل الشريحة II: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

الشريحة IV (الشكل رقم ٥,١٣)

نحسب ضغط التربة الوسطي (بعد حذف الضغط الناتج عن فرق وزن الخرسانة عن التربة)، (انظر الجدول رقم ٥,٢)

$$q_{av}=(49+36.6+48.9+36.5)/4-(25-18)\times0.8=37.15\ ton/m^2$$

إجمالي رد فعل التربة على الشريحة I

$$R=37.15\times12.8\times3.95=1878\ KN$$

مجموع أحمال الأعمدة في الشريحة I

$$\Sigma P=380+490+430=1300\ KN$$

الحمل المتوسط

$$P_{av}=1/2\times(1878+1300)=1589\ KN$$

معامل التخفيض لأحمال الأعمدة

$$F=1589/1300=1.222$$

أحمال الأعمدة المعدلة

$$P1_m=380\times1.222=464\ KN,\ P2_m=490\times1.222=599\ KN$$

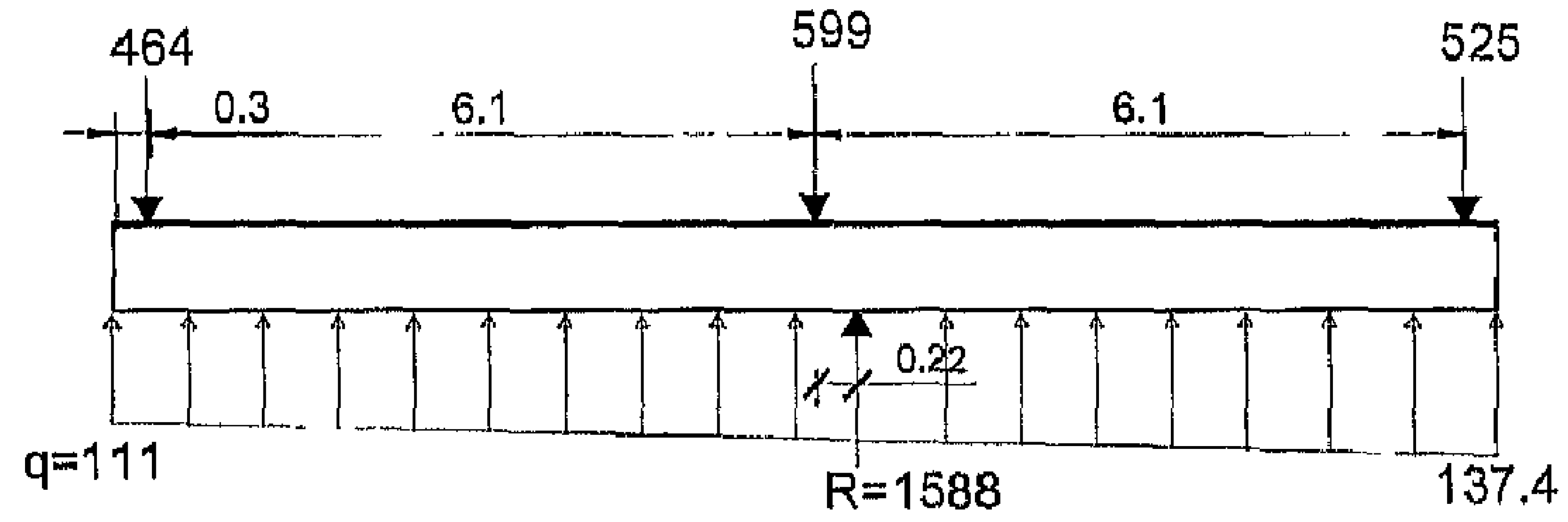
$$P3_m=430\times1.222=525\ KN,\ \Sigma P_m=R=464+599+525=1588\ KN$$

على اعتبار أن محصلة الأحمال غير متمركزة مع مركز ثقل الشريحة يجب حساب اللامركزية

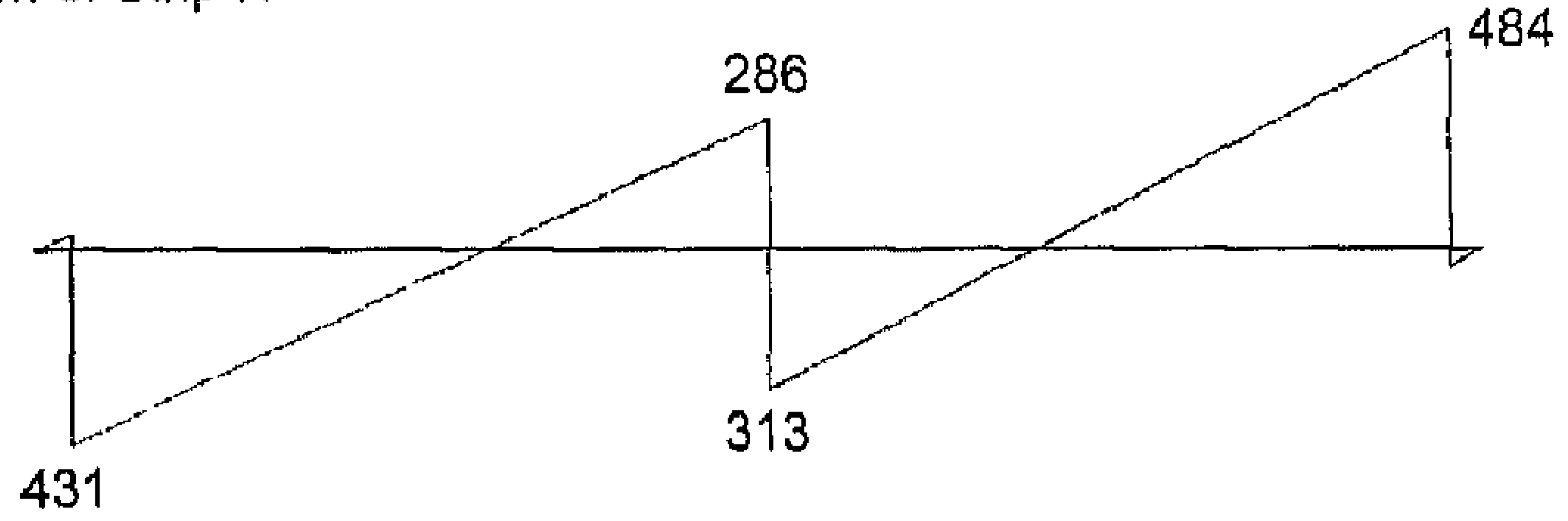
$$e=(525\times6.1-464\times6.1)/1588=0.23\ m$$

إجهاد التربة المعدل

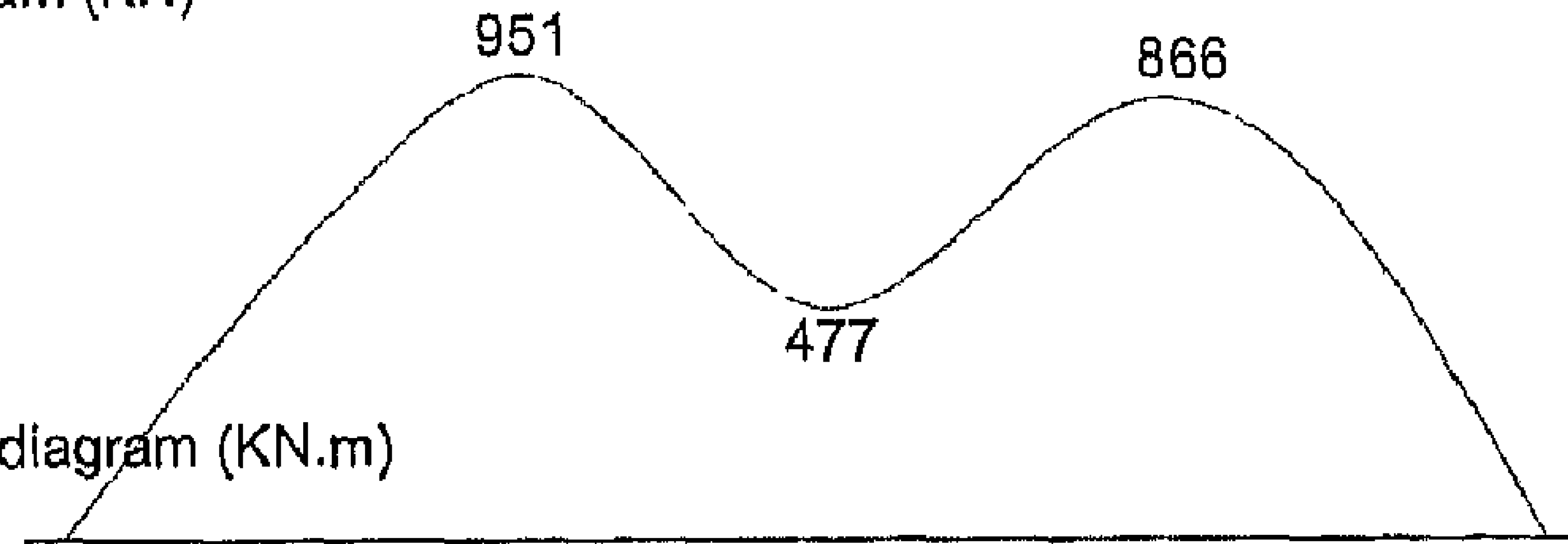
$$q_{avmL,R}=\frac{1588}{12.8}\pm\frac{6\times1588\times0.23}{12.8^2}=(111,\ \ 137.4)\ KN/m^2$$



(a):Free body diagram of Strip IV



(b):Shear force diagram (KN)



(c):Bending moment diagram (KN.m)

الشكل رقم (٥,١٣). تحليل الشريحة IV: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

الشريحة V (الشكل رقم ٥,١٤)

نحسب ضغط التربة الوسطي (بعد حذف الضغط الناتج عن فرق وزن الخرسانة عن التربة)، (انظر الجدول رقم ٥,٢)

$$q_{av}=(48.9+36.5+48.7+36.3)/4-(25-18)\times0.8=37\ KN/m^2$$

إجمالي رد فعل التربة على الشريحة I

$$R=37\times12.8\times7.3=3457\ KN$$

مجموع أحمال الأعمدة في الشريحة I

$$\Sigma P=1460+1460+1100=4020\ KN$$

الحمل المتوسط

$$P_{av}=1/2\times(3457+4020)=3738.5\ KN$$

معامل التخفيض لأحمال الأعمدة

$$F=3738.5/4020=0.93$$

أحمال الأعمدة المعدلة

$$P1_m=P2_m=1460\times0.93=1358\ KN$$

$$P3_m=1100\times0.93=1023\ KN$$

$$\Sigma P_m=R=1358\times2+1023=3739\ KN$$

على اعتبار أن محصلة الأحمال غير متمركزة مع مركز ثقل الشريحة يجب حساب اللامركزية

$$e=(1358\times6.1-1023\times6.1)/3739$$

$$e=0.547\ m$$

إجهاد التربة المعدل

$$q_{avmL,R}=\frac{3739}{12.8}\pm\frac{6\times3739\times0.547}{12.8^2}=(36.5\quad,22)\ KN/m^2$$

الخطوة السادسة: التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

نفترض أن ارتفاع الحصيرة h=0.8 والارتفاع الفعال d = 0.7 m ويتم اعتبار حمل العمود هو نفسه جهد القص (لتجنب الحساب الدقيق لجهد القص حيث توزع الإجهاد خطي ولصالح الأمان). نختار من أجل تدقيق القص العمود الأكثر حرجًا، وهو العمود A-2 (حمل كبير وواقع على طرف الحصيرة)، (انظر الشكل رقم ٥,٨ b).

$$V_u=P_u=1.35\times1460=1971\ KN$$

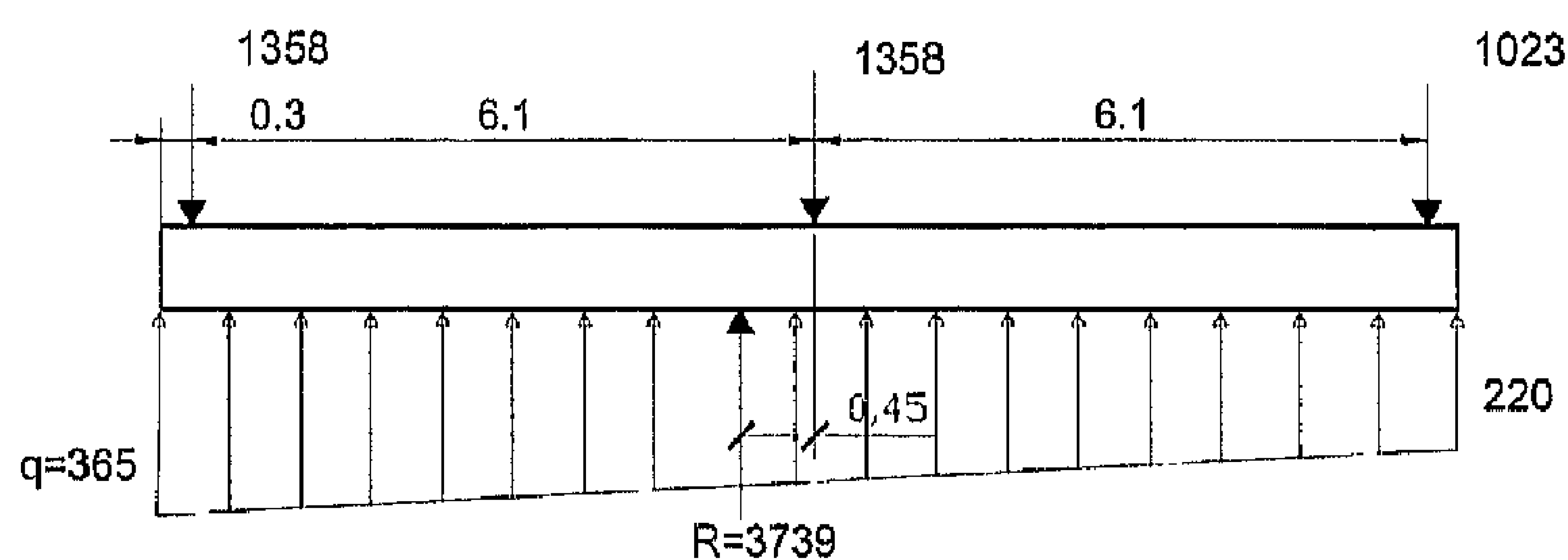
$$b_o=2(a+d/2+0.1)+2(b+d)$$

$$b_o=2(0.4+0.7/2+0.1)+2(0.4+0.7)=3.9\ m$$

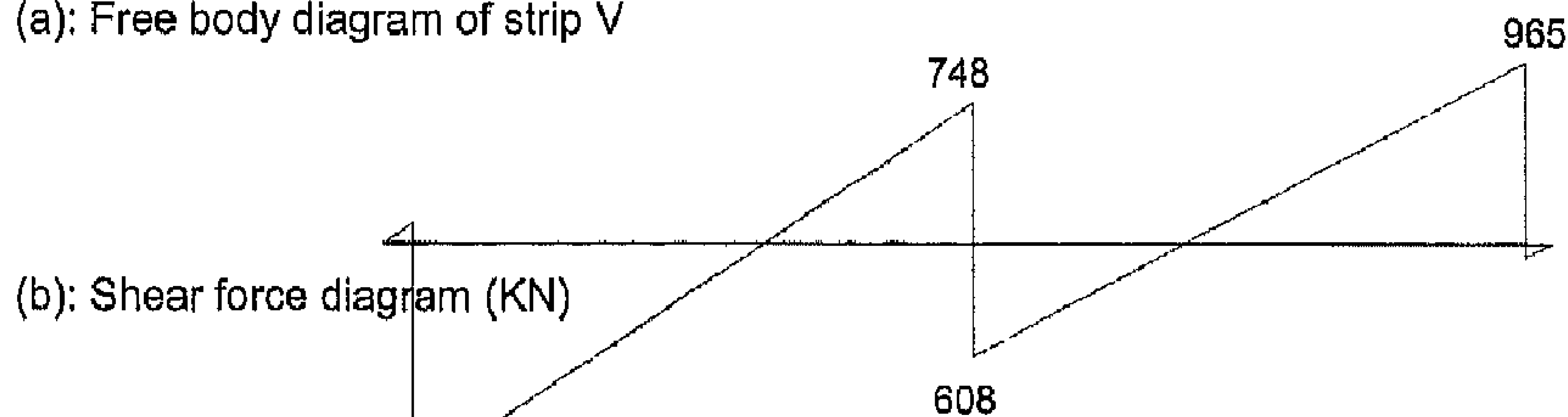
$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d$$

$$V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(3.9\times0.7)\times1000 = 4984 \text{ KN}$$

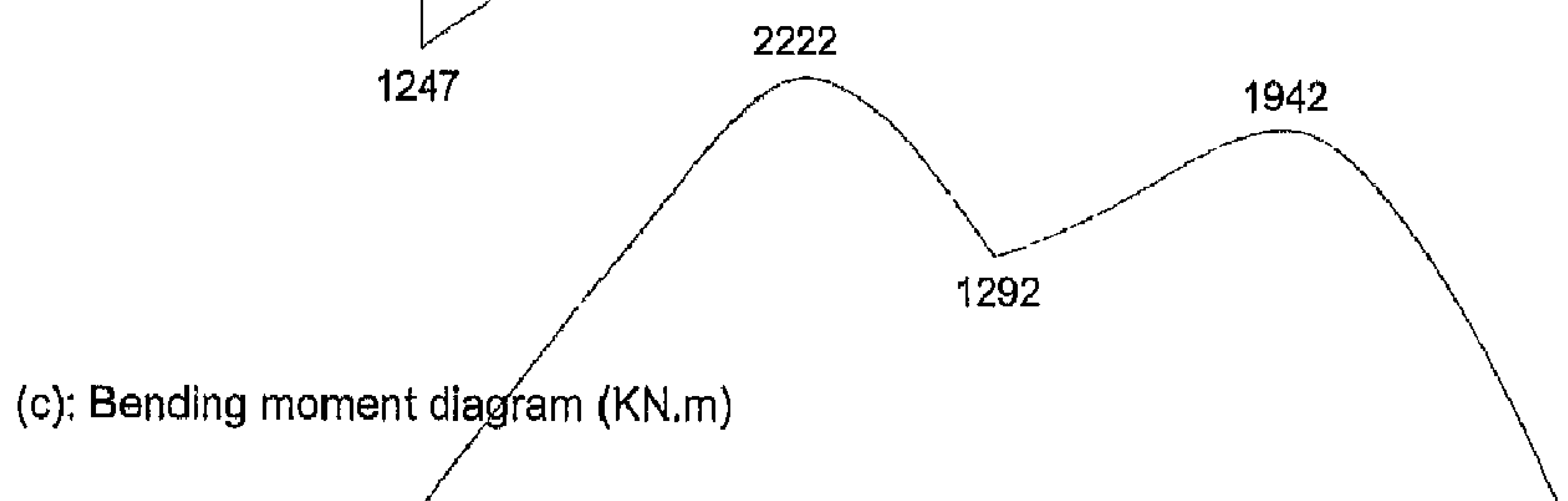
$$V_u = 1971 < 0.75\times4984 = 3738 \text{ KN (Ok.)}$$



(a): Free body diagram of strip V



(b): Shear force diagram (KN)



(c): Bending moment diagram (KN.m)

الشكل رقم (٥,١٤). تحليل الشريحة V: (a) مخطط الجسم الطليق، (b) مخطط قوى القص، (c) مخطط عزم الانحناء.

٢- طريقة العناصر المحدودة (النموذج التحليلي M2 باستخدام برنامج SAFE)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing أما الأعمدة فنوعها Column، (انظر الشكل رقم ٥,١٥)، ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقاً لمعامل رد فعل التربة

$$K_s = 120 \times 50 = 6000\ KN/m^3$$

يتم إدخال الأحمال المحورية التشغيلية للأعمدة بتعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null. يتم تعريف حالة تركيب الأحمال

Comb1: 1.35 (D+L)

٣- طريقة العناصر المحدودة (النموذج التحليلي M3 باستخدام برنامج SAP)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر Shell element نوع Thick shell، (انظر الشكل رقم ٥,١٦)، ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقا لمعامل رد فعل التربة

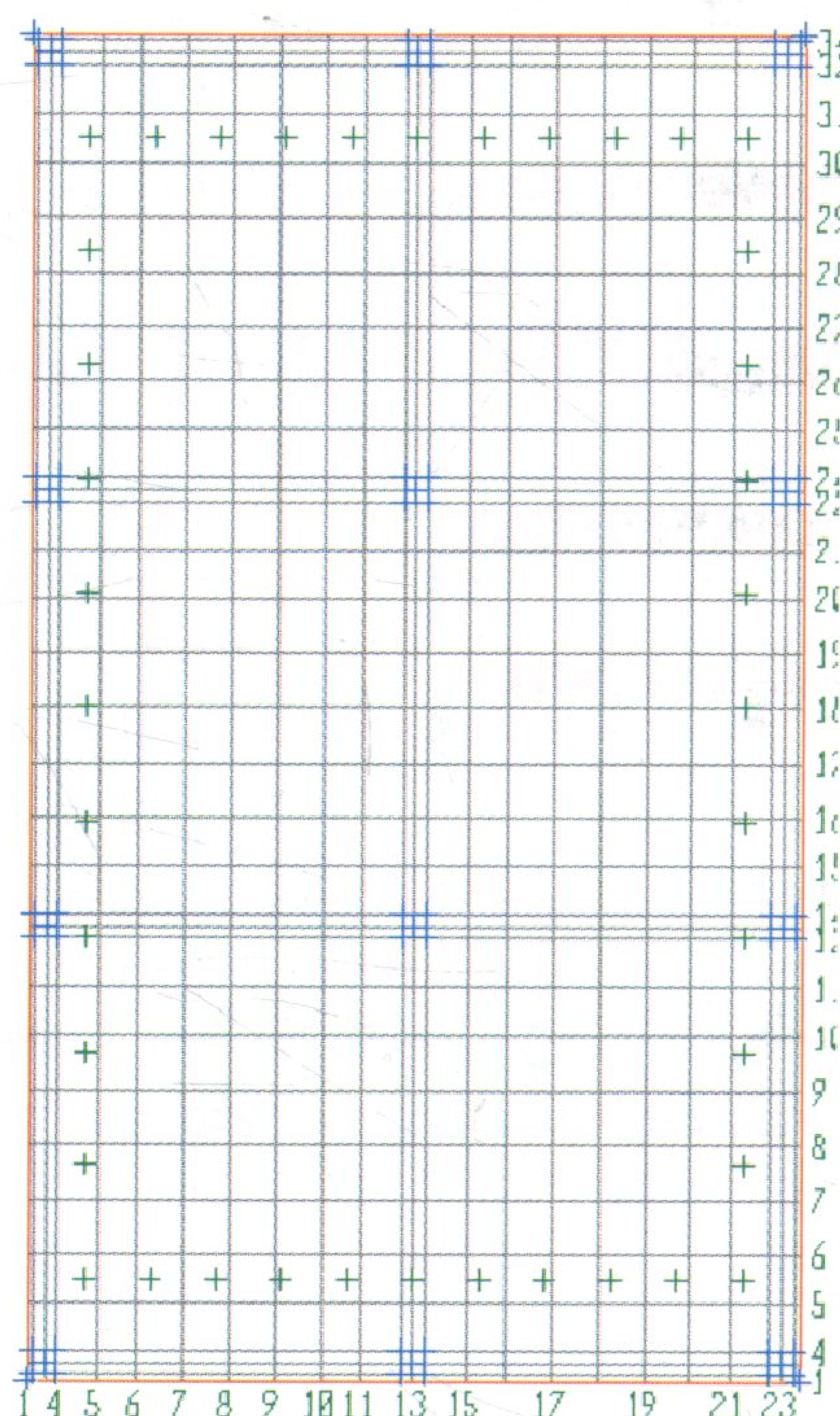
$$K_s = 120 \times 50 = 6000\ KN/m^3$$

يتم توزيع أحمال الأعمدة التشغيلية باستخدام حمل الضغط Shell Pressure على مساحة تحدد ببعدين يزيدان بمقدار d/2 من كافة أطراف العمود الموافق قدر الإمكان. يتم إتاحة ثلاث درجات حرية لكافة العقد، وهي الانتقال الرأسي والدوران حول المحورين في مستوي الحصيرة وإلغاء باقي درجات الحرية أي:

Restraints: u1, u2, r3

يتم تعريف حالة تركيب الأحمال

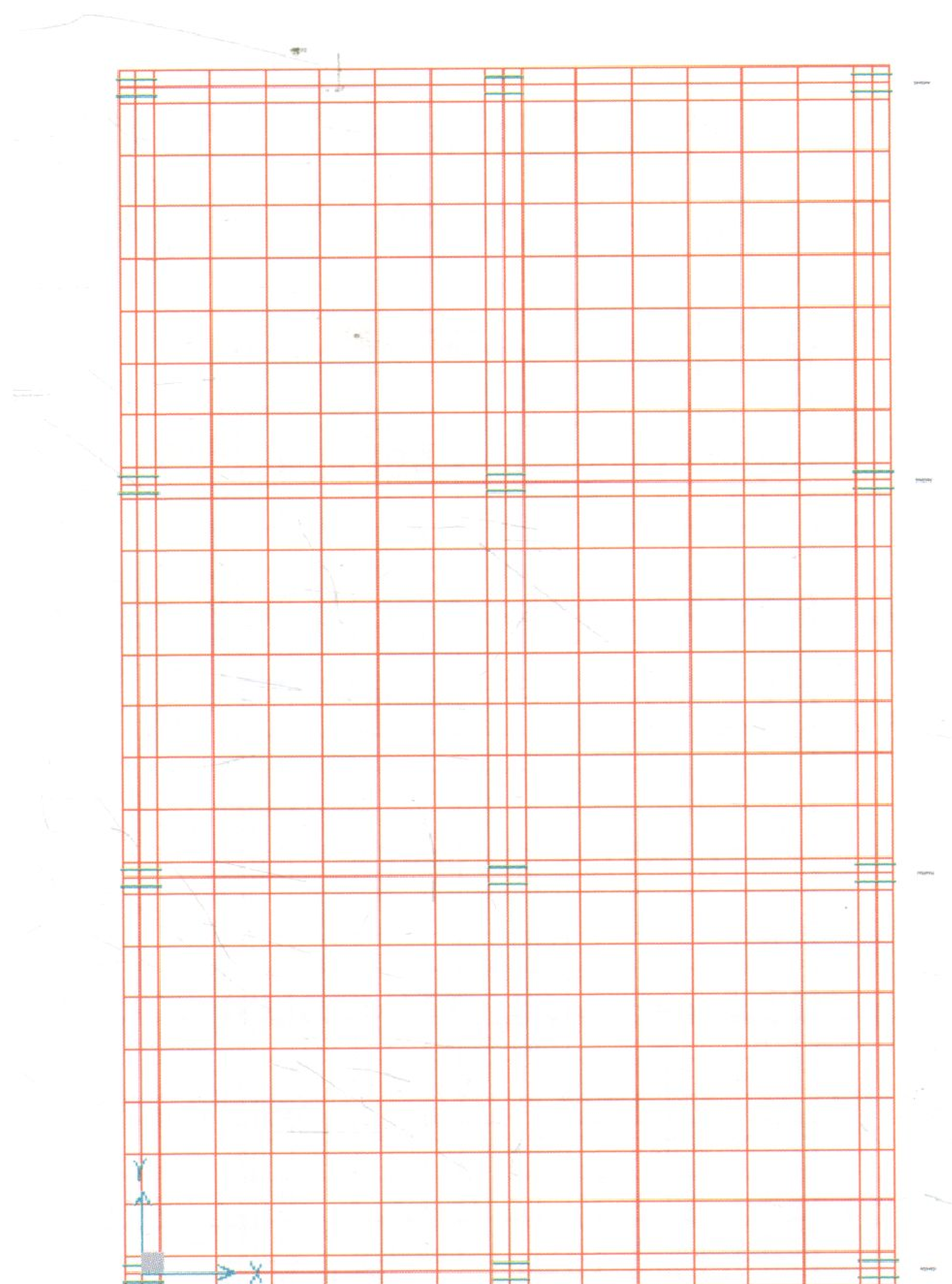
Comb1: 1.35 (D+L)



الشكل رقم (٥,١٥). النموذج التحليلي M2 للحصيرة.

النتائج

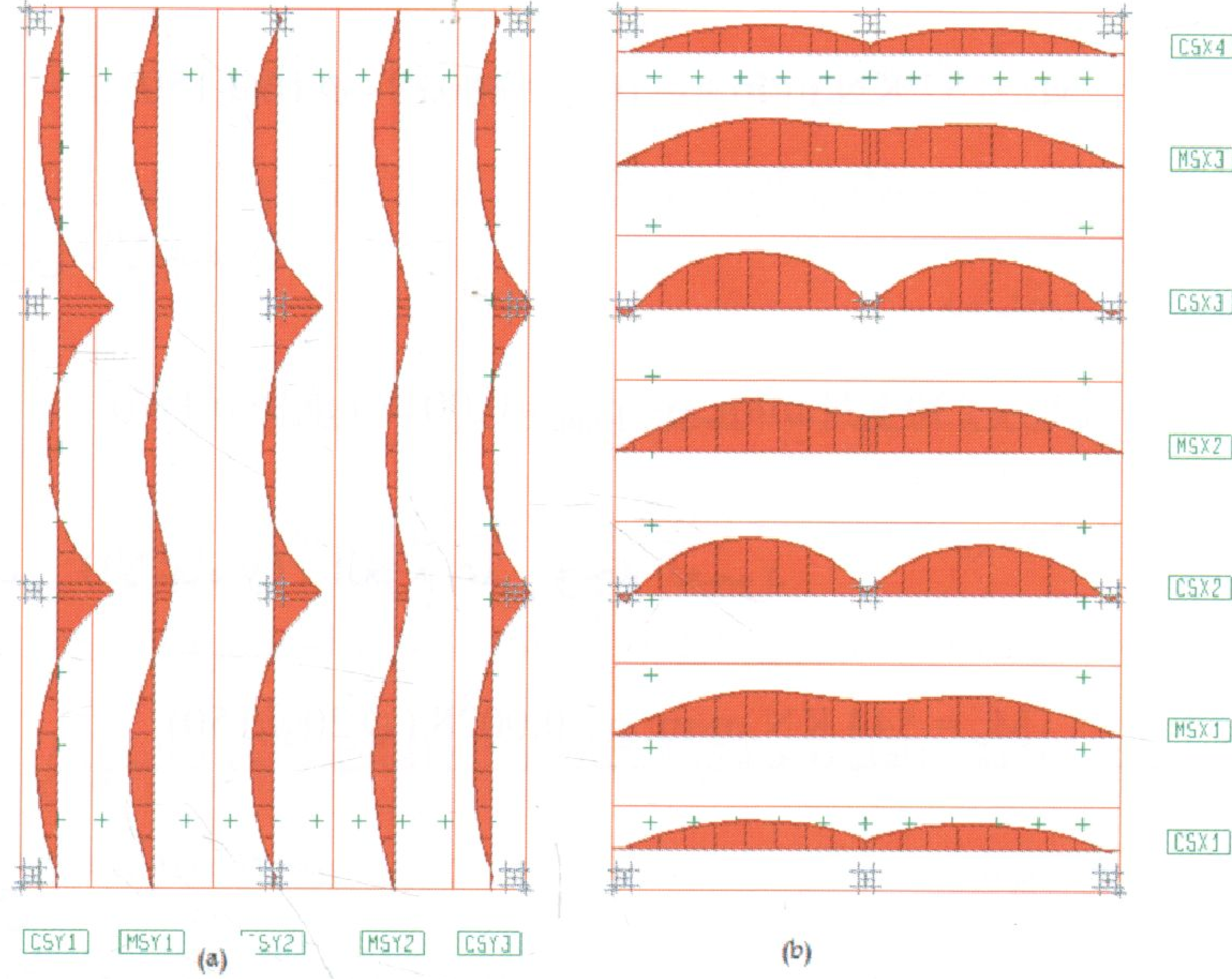
يبين الشكل رقم (٥,١٧) مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاهين x, y وفق تركيب الأحمال Comb1، يتم ترتيب نتائج عزم الانحناء الأعظمي للنموذج التحليلي M1 الطريقة الجاسئة والنموذج التحليلي M2 البرنامج SAFE والنموذج التحليلي M3 البرنامج SAP في الجدول رقم (٥,٣) ويلاحظ من الجدول تقارب قيم العزم باستخدام طريقة العناصر المحدودة بواسطة برنامج SAFE أو SAP.



الشكل رقم (٥,١٦). النموذج التحليلي M3 للحصيرة.

الجدول رقم (٥,٣). جدول مقارنة العزوم الحدية الأعظمية في النماذج التحليلية M1, M2, M3.

الطريقة	النموذج التحليلي	الشريحة Strip II		الشريحة Strip V	
		Max M_u- (KN.m/m)	Max M_u+ (KN.m/m)	Max M_u- (KN.m/m)	Max M_u+ (KN.m/m)
الطريقة الجاسئة	M1	-138.4	363	-411	0
برنامج SAFE	M2	-163	327	-337.5	57
برنامج SAP	M3	-161	279	-363	42



الشكل رقم (٥,١٧). مخططات العزم للنموذج M2 وفق التركيب Comb1، (a) مخطط العزم للشرائح بالاتجاه y، (b) مخطط العزم للشرائح بالاتجاه x.

التعليق على النتائج

بمقارنة قيم العزوم في الحصيرة باستخدام الطريقة الجاسئة (النموذج M1)، وباستخدام العناصر المحدودة (النموذجان M2, M3) نجد الاختلاف الواضح بين الطريقتين، كذلك نجد – أيضًا – بعض الفروقات بين قيم العزم في النموذجين (M2, M3) المبنيين باستخدام طريقة العناصر المحدودة وربما يعود الاختلاف إلى طريقة إدخال أحمال الأعمدة في كل من النموذجين، (انظر الملحق B1).

حساب التسليح (وفق النموذج M2)

التسليح العلوي (الاتجاه x)

$$M_u = 337.5 \text{ KN.m/m},\ \rho=\rho_{min}=0.0018\ (\phi\, 16@150 \text{ mm})$$

التسليح السفلي (الاتجاه x)، العزم على وجه العمود

$M_u = 57$ KN.m/m, $\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ16@150)

التسليح العلوي (الاتجاه y)

$M_u = 230$ KN.m/m, $\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ16@150)

التسليح السفلي (الاتجاه y)، العزم على وجه العمود

$M_u = 544$ KN.m/m, $\rho = 0.0028$ (ϕ20@150)

مخطط التسليح

انظر الملحق C6 مع الإشارة إلى أنه تم حساب التسليح باعتبار الشريحة ذات العزم الأعظمي وتعميمه على باقي الشرائح، ولكن من الأفضل والأكثر اقتصادية أن تسلح كل شريحة وفق عزمها الأعظمي وذلك في حال ضمان جودة التنفيذ. يمكن أيضًا فرش شبكة تسليح سفلية وعلوية بالحد الأدنى على كامل الحصيرة ومن ثم وضع تسليح إضافي تحت الأعمدة وفي وسط البحور.

المثال (٥,٢): حصيرة نوع "بلاطة مع جسور مقلوبة" Ribbed Raft Foundation

يطلب تصميم حصيرة "بلاطة مع جسور مقلوبة"، (انظر الشكلين رقمي ٥,١٨ و٥,١٩) لمبنى من ستة طوابق مع العلم أن الأحمال التي تنقلها الأعمدة إلى الأساس (ميتة + حية + زلازل) موضحة في الجدول رقم (٥,٤)، وأن جميع الأعمدة بمقطع 70×70 cm وتحمل التربة المسموح الصافي $q_{an} = 100$ KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط $f'c = 30$ MPa وإجهاد خضوع الفولاذ $f_y = 414$ MPa، وأحمال جدران الأقبية ($q_D = 20$, $q_L = 7$ KN/m)، ارتفاع طابق القبو 3.0 m.

الغاية من المثال

تصميم حصيرة "بلاطة مع جسور مقلوبة بطريقة العناصر المحدودة، تمثيل جدران الأقبية، التعامل مع جميع حالات التحميل (ميتة، حية، زلازل)، مخطط التسليح البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

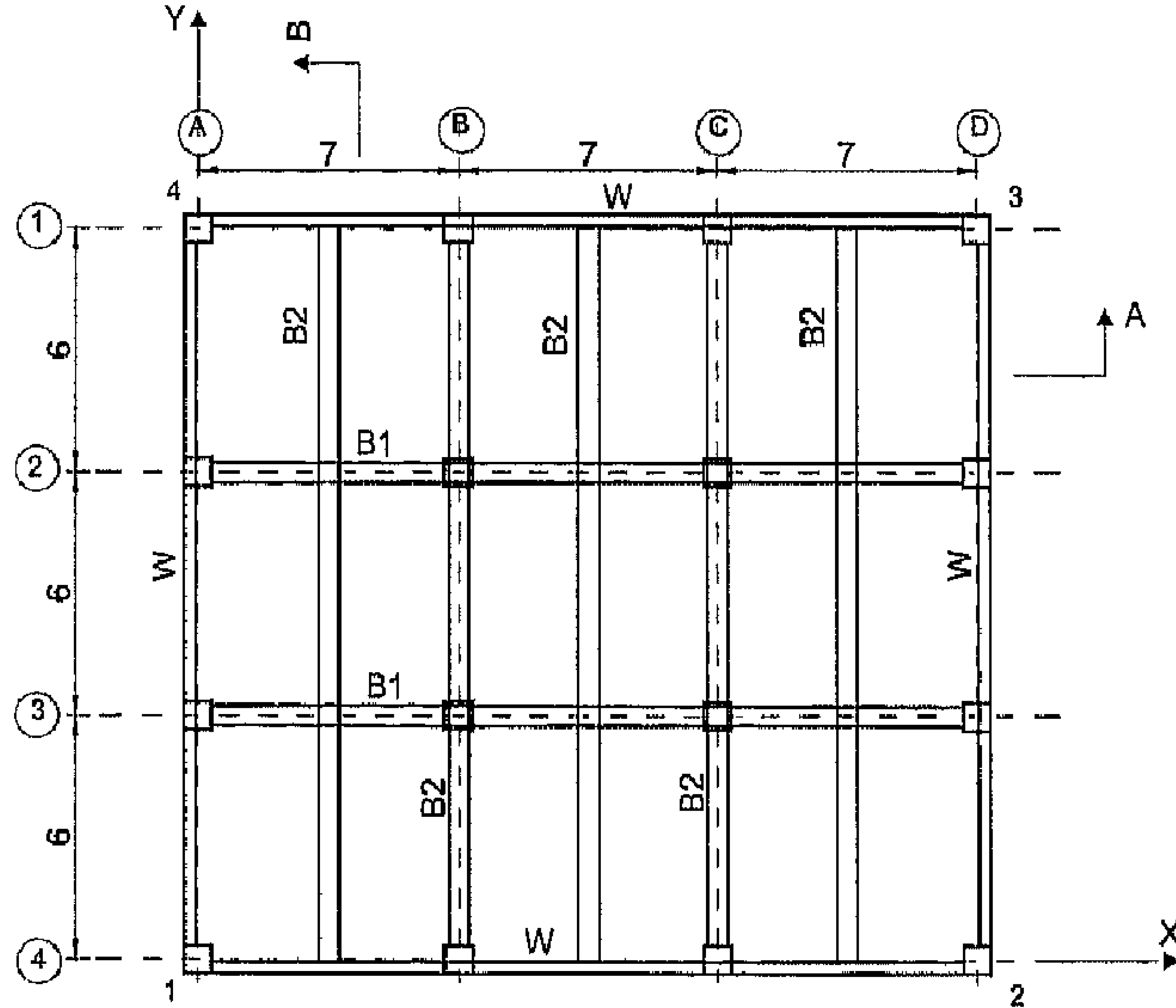
الحل وفق طريقة العناصر المحدودة – (النموذج التحليلي M1)

الخطوة الأولى: حساب الضغط على التربة في نقاط زوايا الحصيرة: يمكن اختيار سماكة الحصيرة وارتفاعات الجسور المقلوبة مبدئيًا استنادا لاشتراطات (الكود السوري، ٢٠٠٣م).

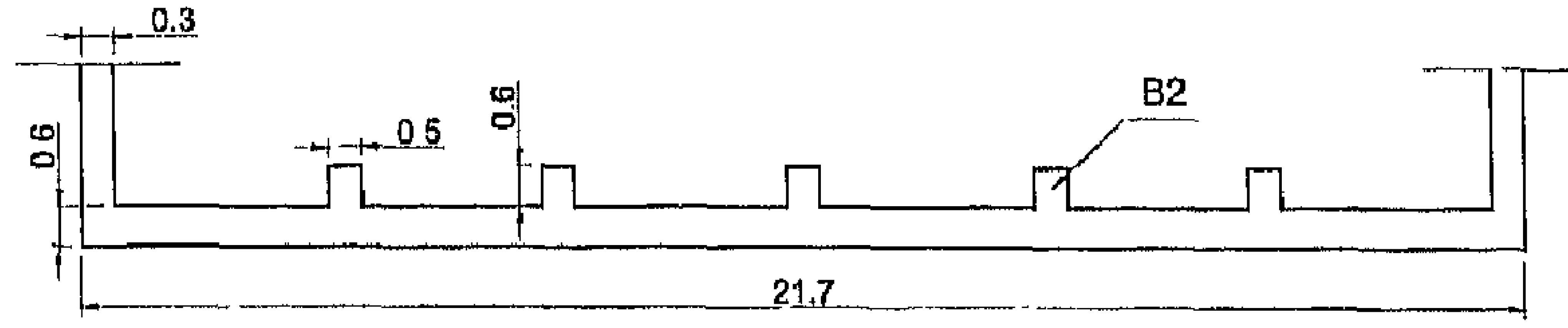
سماكة بلاطات الحصيرة: h=L/10 = 6/10 =0.6m

ارتفاع الكمرة B1: h=3.5/5 = 0.7 m

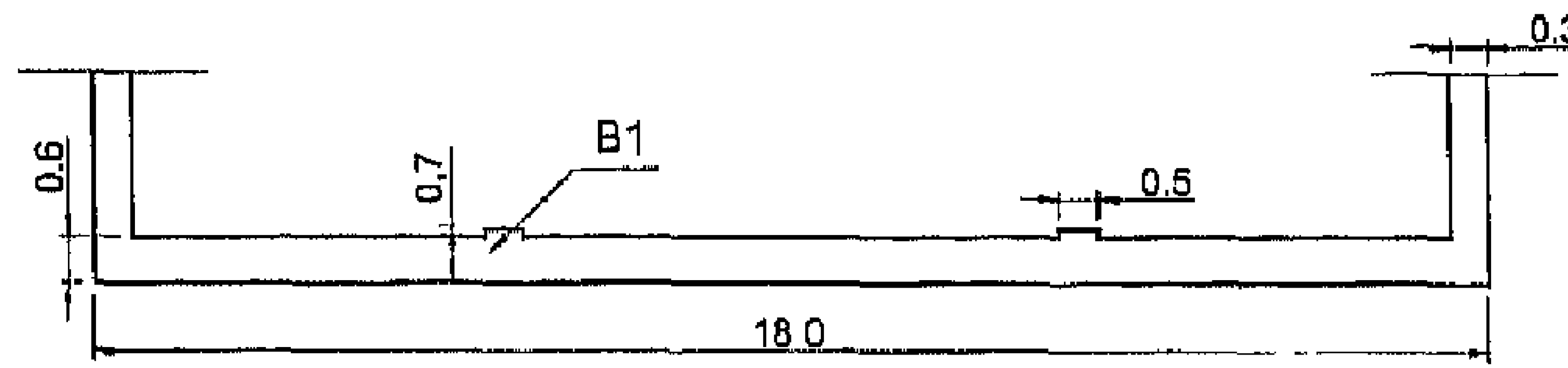
ارتفاع الكمرة B2: h=6/5=1.2 m



الشكل رقم (٥,١٨). مسقط حصيرة "بلاطة مع جسور مقلوبة".



(a): Section A-A



(b): Section B-B

الشكل رقم (٥,١٩). مقاطع في حصيرة نوع بلاطة مع جسور مقلوبة: (a) المقطع A-A، (b) المقطع B-B.

الجدول رقم (٥,٤). أحمال الأعمدة.

Col No	D (KN, m)			L (KN, m)			Ex (KN, m)			Ey (KN, m)		
	Fz	Mx	My	Fz	Mx	My	Fz	Mx	My	Fz	Mx	My
A1	500	-30	40	300	-10	20	-180	0	-160	170	-150	0
B1	900	0	0	600	0	0	30	0	-140	40	-130	0
C1	950	0	0	600	0	0	-30	0	-130	-40	-120	0
D1	550	30	-40	350	10	-20	180	0	-150	-170	-160	0
A2	900	-60	70	600	-30	50	-220	0	-190	200	-200	0
B2	1800	0	0	1000	0	0	40	0	-160	50	-140	0
C2	2000	0	0	1250	0	0	-40	0	-150	-50	-130	0
D2	1000	60	-70	600	30	-50	220	0	-180	-200	-210	0
A3	950	-60	7	650	-30	50	-220	0	-190	200	-200	0
B3	2000	0	0	1200	0	0	40	0	-160	50	-140	0
C3	2200	0	0	1500	0	0	-40	0	-150	-50	-130	0
D3	1000	60	-70	600	30	-50	220	0	-180	-200	-210	0
A4	600	-30	40	350	-20	30	-180	0	-160	170	-150	0
B4	900	0	0	600	0	0	30	0	-140	40	-130	0
C4	900	0	0	600	0	0	-30	0	-130	-40	-120	0
D4	600	30	-40	350	20	-30	180	0	-150	-170	-160	0

فيما يلي حسابات تحقيق عدم تجاوز تحمل التربة في حالات أحمال التشغيل أو الاستثمار (ميتة + حية) فقط، علما أنه يجب تحقيق عدم تجاوز تحمل التربة من أجل حالات تحميل أخرى تتضمن قوى الزلازل. يمكن أيضا الحصول على رد فعل التربة من نتائج التحليل الإنشائي للنموذج التحليلي، ولكن من المفضل الاعتماد على الطريقة اليدوية لحساب الضغط على التربة، حيث إن طريقة العناصر المحدودة يمكن أن تعطي قيما أكبر للإجهادات وخاصة تحت الأعمدة.

حالة أحمال الاستثمار(الميتة + الحية)

يتم حساب القيم الإجمالية للأحمال الرأسية، وتحديد مركز الأحمال CF ومركز الكتلة CM والعزوم الناشئة عن الأحمال الرأسية في حال وجود لامركزية، (انظر الجدول رقم ٥,٥).

$$\Sigma\ Fz=17750+11150=28900\ KN$$

$$x_{CF}=(196260+122900)/28900=11.04\ m$$

$$y_{CF}=[\Sigma(Fz \times y)+\Sigma Mx)/\Sigma Fz$$

$$y_{CF}=(163710+102300)/28900=9.205\ m$$

$$e_x=x_{CF}-x_{CM}=11.04-(21.7/2)=0.19\ m$$

$$e_y=y_{CF}-y_{CM}=9.2-(18.7/2)=-0.145\ m$$

$$Mx=\Sigma\ Fz \times e_y=28900\times(-0.145)=-4190.5\ KN.m$$

الجدول رقم (٥,٥). تفاصيل حساب اللامركزية والعزوم حالة أحمال التشغيل (ميتة + حية).

			D (KN, m)					L (KN, m)				
Load No	X*	Y*	Fz	Mx	My	Fz × y	Fz × x	Fz	Mx	My	Fz × y	Fz × x
A1	0.35	18.35	500	-30	40	9175	175	300	-10	20	5505	105
B1	7.35	18.35	900	0	0	16520	6615	600	0	0	11010	4410
C1	14.35	18.35	950	0	0	17430	13630	600	0	0	11010	8610
D1	21.35	18.35	550	30	-40	10090	11740	350	10	-20	6423	7473
A2	0.35	12.35	900	-60	70	11120	315	600	-30	50	7410	210
B2	7.35	12.35	1800	0	0	22230	13230	1000	0	0	12350	7350
C2	14.35	12.35	2000	0	0	24700	28700	1250	0	0	15440	17940
D2	21.35	12.35	1000	60	-70	12350	21350	600	30	-50	7410	12810
A3	0.35	6.35	950	-60	70	6033	332.5	650	-30	50	4128	227.5
B3	7.35	6.35	2000	0	0	12700	14700	1200	0	0	7620	8820
C3	14.35	6.35	2200	0	0	13970	31570	1500	0	0	9525	21530
D3	21.35	6.35	1000	60	-70	6350	21350	600	30	-50	3810	12810
A4	0.35	0.35	600	-30	40	210	210	350	-20	30	122.5	122.5
B4	7.35	0.35	900	0	0	315	6615	600	0	0	210	4410
C4	14.35	0.35	900	0	0	315	12920	600	0	0	210	8610
D4	21.35	0.35	600	30	-40	210	12810	350	20	-30	122.5	7473
Σ			17750	0	0	163710	196260	11150	0	0	102300	122900

* تؤخذ الاحداثيات X, Y بالنسبة للنقطة ١، (انظر الشكل رقم ٥,١٨).

$$My = \Sigma\, Fz \times e_x = 28900 \times 0.19 = 5491 \text{ KN.m}$$

$$I_x = 21.7 \times 18.7^3/12 = 11825.1 \text{ m}^4$$

$$I_y = 18.7 \times 21.7^3/12 = 15923.5 \text{ m}^4$$

نعتبر الأحمال التالية من أرضية المبنى على الحصيرة

حمل ميت (فرق وزن الخرسانة عن التربة + ردم فوق الحصيرة + تشطيب الأرضية)

$$W_D=18\ KN/m^2$$

حمل حي

$$W_L=3\ KN/m^2$$

$$P_{total} = 28900 + 21.7\times18.7\times(18+3)=37422\ KN$$

يتم الآن التعويض في العلاقة (5.7)

$$q=\frac{37422}{21.7\times18.7}-\frac{4190.5}{11825.1}y+\frac{5491}{15923.5}x$$

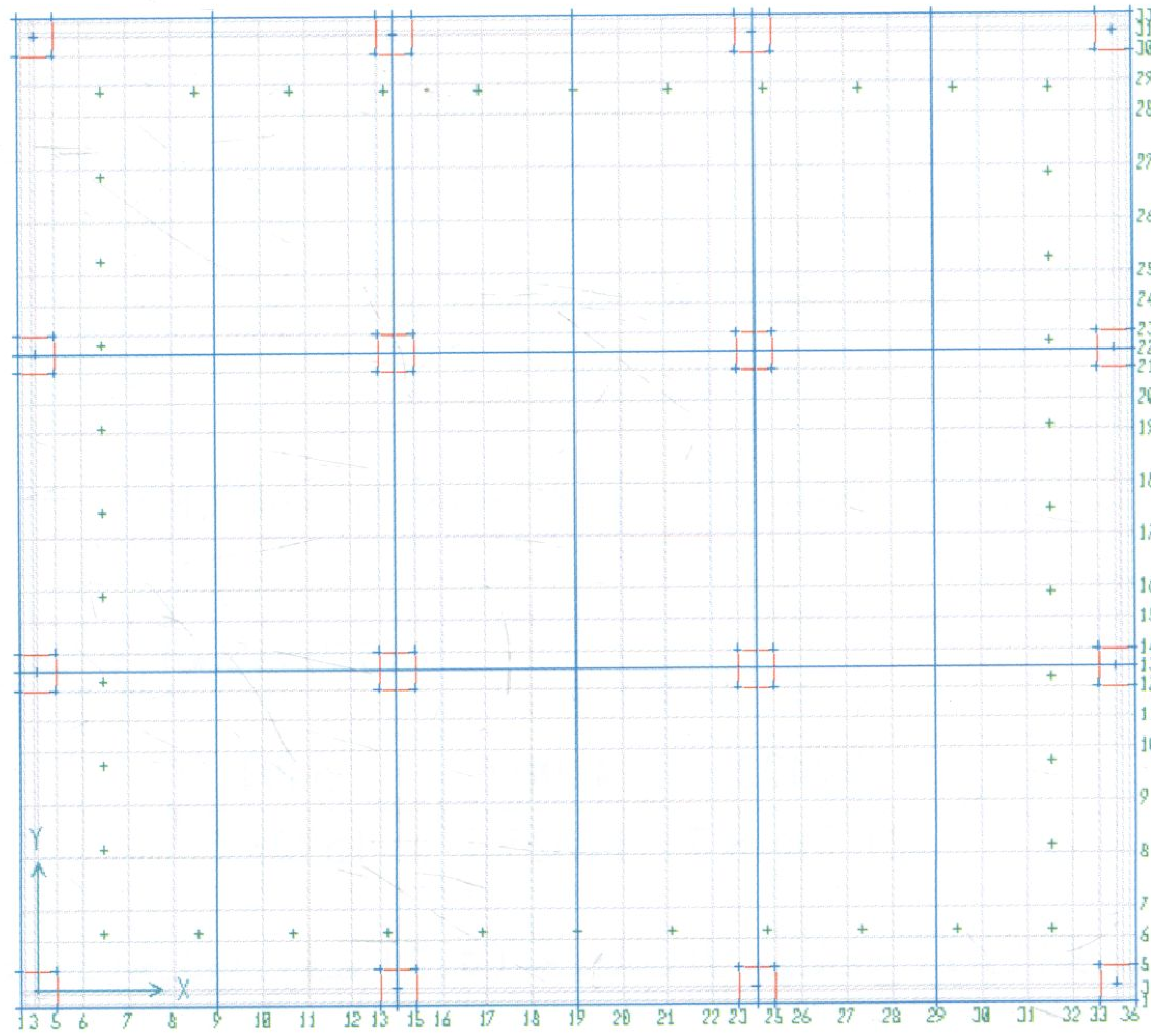
يتم إعداد الجدول رقم (٥,٦) لحساب الإجهاد في زوايا الحصيرة. يتبين أن الإجهاد محقق في جميع النقاط (مع الانتباه إلى أن الإحداثيات x, y تقاس من مركز كتلة الحصيرة).

الجدول رقم (٥,٦). قيم إجهاد الضغط في زوايا الحصيرة.

رقم النقطة	x (m)	y (m)	q (KN/m²)	$q<q_{an}=100$
1	-10.85	-9.35	85.2	Ok.
2	10.85	-9.35	81.6	Ok.
3	10.85	9.35	99.2	Ok.
4	-10.85	9.35	82.6	Ok.

الخطوة الثانية رسم وتمثيل عناصر الحصيرة - النموذج التحليلي M1: يتم رسم الحصيرة وتمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Footing ،

أما الأعمدة فنوعها Column ، (انظر الشكل رقم ٥,٢٠). يتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقا لمعامل رد فعل التربة ($Ks=120\times100=12000\ KN/m^3$).



الشكل رقم (٥,٢٠). النموذج التحليلي M1.

يتم تمثيل الجسور المقلوبة والحوائط بواسطة عنصر الكمرة Beam element مع مراعاة أن يكون منسوب المستوى الأسفل للبلاطات والجسور والجدران موحدًا، ويتم ذلك بإدخال قيمة مناسبة للإزاحة Offset في نافذة "Line object information"

الخطوة الثالثة إدخال الأحمال : يتم إدخال الأحمال لحالات التحميل التالية :

حالتا الأحمال الميتة والحية : Case1 (D), Case 2 (L)

حالتا أحمال الزلازل بالاتجاهين x, y : Case3 (Ex), Case4 (Ey)

الخطوة الرابعة تراكيب الأحمال : يتم تعريف حالات تركيب الأحمال التالية :

Comb1: 1.2 DL + 1.6 LL

Comb 2, 3: 1.2 DL + 1.0 LL ± 1.0 Ex

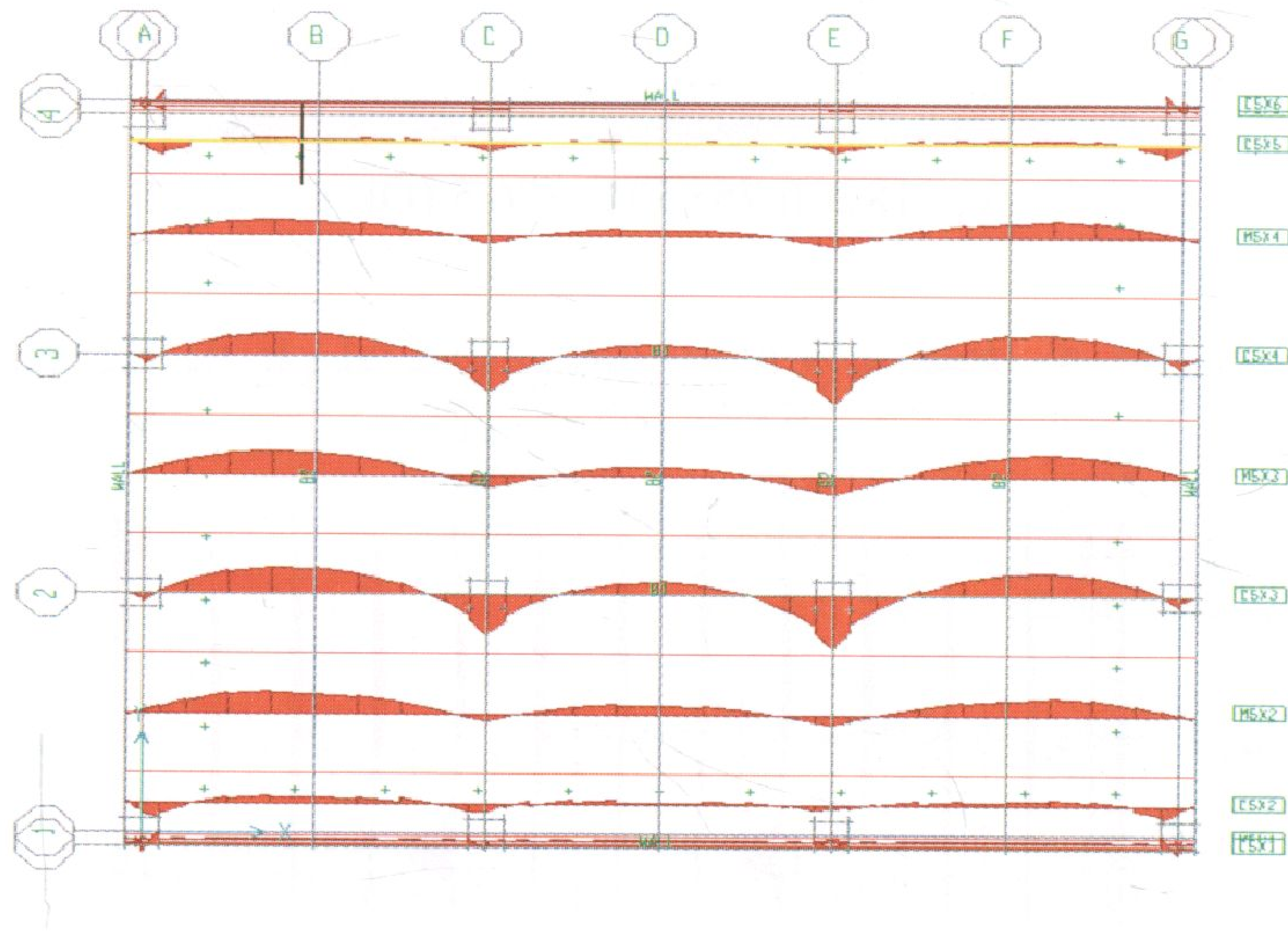
Comb 4, 5: 1.2 DL + 1.0 LL ± 1.0 Ey

Comb 6, 7: 0.9 DL ± 1.0 Ex

Comb 8, 9: 0.9 DL ± 1.0 Ey

الخطوة الخامسة : النتائج

يبين الشكل رقم (٥,٢١) مخطط عزم الانحناء لشرائح البلاطات بالاتجاه x والشكل رقم (٥,٢٢) مخطط عزم الانحناء لشرائح البلاطات بالاتجاه y والشكل رقم (٥,٢٣) مخطط عزم الانحناء للجسور والحوائط وذلك من أجل الحالة Comb1.



الشكل رقم (٥,٢١). مخطط عزوم الانحناء لشرائح البلاطات بالاتجاه x وفق التركيب Comb1.

الخطوة السادسة : تصميم المقاطع - بلاطات + جسور (النموذج M1)

١- البلاطات

تحقيق البلاطة على القص أحادي الاتجاه في الاتجاه x

$$V_u = 163 \text{ KN/m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd ,$$

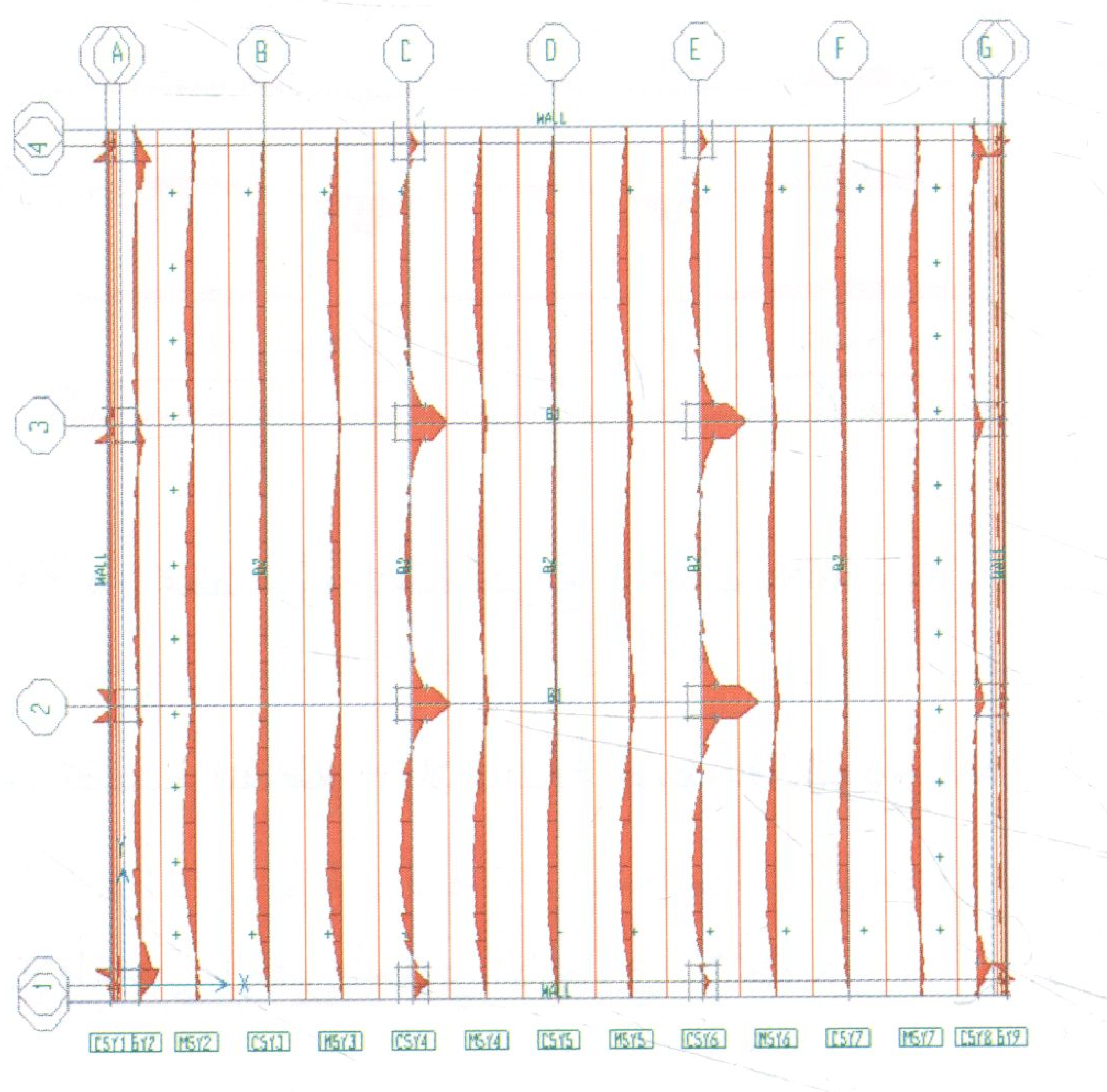
$$V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(1.0 \times 0.55) \times 1000 = 502 \text{ KN}$$

$$V_u = 16.3 < 0.75 \times 502 = 376{,}5 \text{ KN (Ok.)}$$

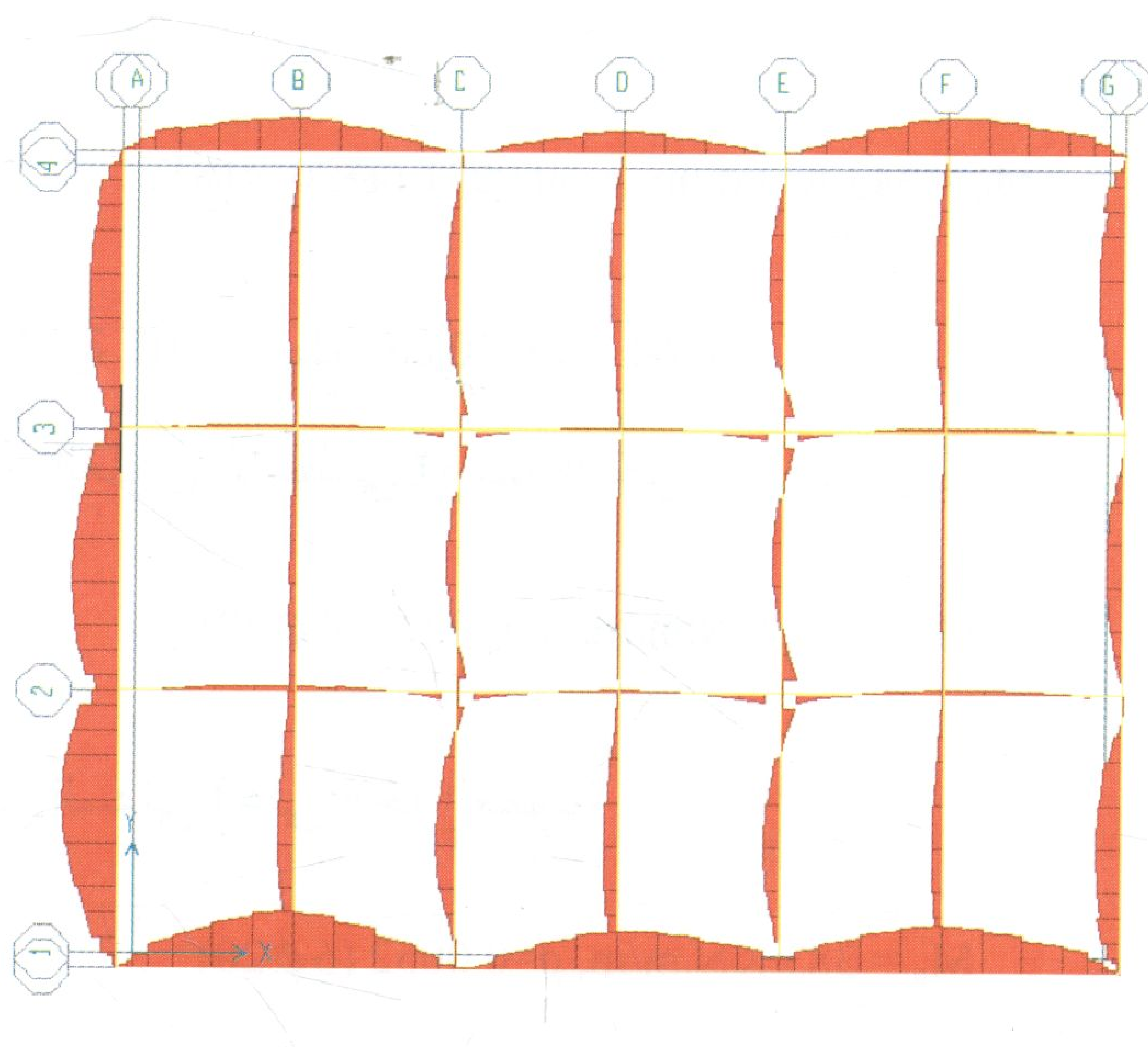
تحقيق البلاطة على القص أحادي الاتجاه في الاتجاه y

$$V_u = 182 \text{ KN/m}$$

$$V_u = 182 < 0.75 \times 502 = 376.5 \text{ (Ok.)}$$



الشكل رقم (٥,٢٢). مخطط عزوم الانحناء لشرائح البلاطات بالاتجاه y وفق التركيب Comb1.



الشكل رقم (٥,٢٣). مخطط عزوم الانحناء للجسور والحوائط وفق التركيب Comb1.

التسليح الطولي للبلاطات

التسليح العلوي الأعظمي للبلاطات (الاتجاه x)

M_u = 370 KN.m/m, ρ =0.0034 (ϕ20@165 mm)

التسليح السفلي الأعظمي للبلاطات (الاتجاه x)

M_u = 420 KN.m/m, ρ =0.0038 (ϕ22@165)

التسليح العلوي الأعظمي للبلاطات (الاتجاه y)

M_u = 234 KN.m/m, ρ =0.0021 (ϕ18@185 mm)

التسليح السفلي الأعظمي للبلاطات (الاتجاه y)

$M_u = 343$ KN.m/m, ρ =0.0031 (ϕ20@185)

٢- الجسور الثانوية B1 : مقطع 50×70 cm ، d=0.64

التسليح الرئيس العلوي الأعظمي (وسط البحر)

$M_u = 277$ KN.m/m, ρ=0.0037 (4ϕ20)

التسليح الرئيس السفلي (على وجه العمود)

$M_u = 383$ KN.m/m, ρ=0.0052 (6ϕ20)

التسليح العرضي

يتم حساب التسليح العرضي باعتبار قوة القص الموافقة لمقطع على بعد d من وجه العمود، وتتم معاملة الجسر المقلوب كأنه كمرة في حساب القص، تستنتج قيمة التسليح من نتائج التصميم

$V_u = 260$ KN

$A_v/s=4.4$ cm^2/m (2ϕ8@200)

٣- الجسور الرئيسة B2 : (المقطع 50×120 cm ، d=1.1 m)

التسليح الرئيس العلوي الأعظمي (وسط البحر)

$M_u = 890$ KN.m/m, ρ=0.0041 (6ϕ22)

التسليح الرئيس السفلي (على وجه العمود)

M_u = 650 KN.m/m, ρ=0.003 (6 ϕ 20)

التسليح العرضي

يتم حساب التسليح العرضي بنفس طريقة الجسور الثانوية

V_u = 510 KN

A_v/s=5.7 cm^2/m (2 ϕ 8@200)

مخطط التسليح : انظر الملحق C7

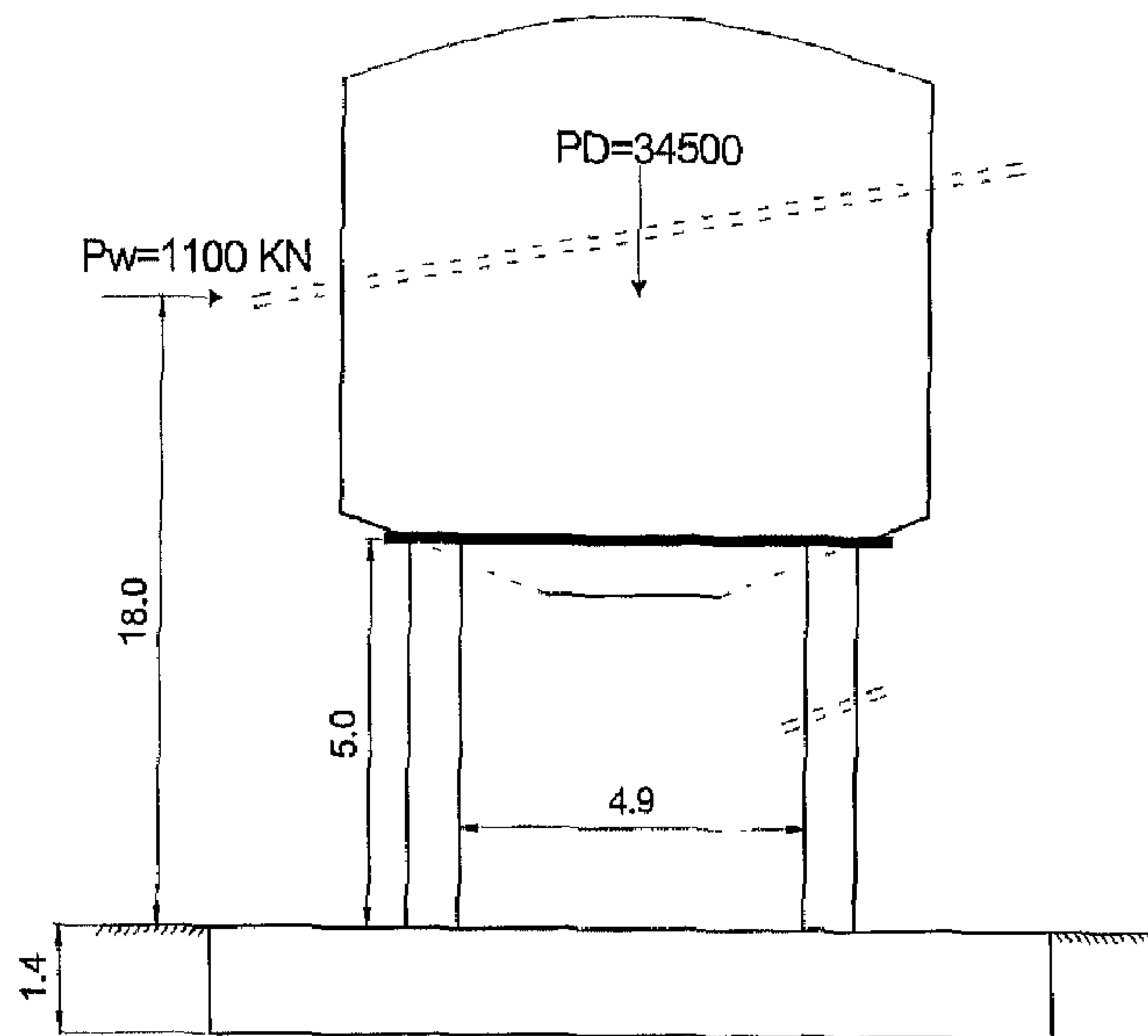
ملاحظة واستنتاجات

- تصمم جدران القبو باعتبارها جسورا عميقة.
- نجد من هذه المسألة أهمية الانتباه إلى تسليح البلاطات، حيث إن البلاطات في هذا المثال لها قيم عزوم كبيرة.
- ننبه إلى أن هذا النوع من الأساسات على الرغم من كونه أوفر من ناحية كمية الخرسانة إلا أنه يجب ردم الفراغات بين الجسور المقلوبة وعمل أرضية مسلحة جديدة مما يتطلب إجراء دراسة مقارنة بين هذا النوع من الحصائر (بلاطة مع جسور مقلوبة)، والنوع الآخر (بلاطة منبسطة كما في المثال ١) واختيار الأفضل اقتصاديا.
- ننبه إلى أنه في حال اختيار حصيرة "بلاطة بجسور مقلوبة" يجب الصب بداية حتى أعلى البلاطة، أي منسوب 60 cm+ في هذا المثال، ومن ثم صب بقية الجسور المقلوبة مما يؤدي إلى نشوء فاصل صب.

المثال (٥,٣): حصيرة خزان عالي مربعة الشكل مع تمثيل ارتباط النوابض

Square Raft Foundation for Elevated Tank with Spring Coupling

يطلب تصميم حصيرة خزان مربعة الشكل، (انظر الشكل رقم ٥,٢٤) مع العلم أن الأحمال الإجمالية P_D (خزان مليء مع أعمدة) وحمل الرياح P_W موضحتان بالشكل ومقدرتان بالطن، وأن جميع الأعمدة بمقطع 75×75 cm وتحمل التربة المسموح الصافي q_{an} = 250 KPa ويسمح بزيادة هذه القيمة بمقدار 33% في حالة الرياح، وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa. يكتفى باعتبار حالتي تركيب الأحمال (جاذبية فقط، جاذبية + رياح) وذلك في حالة كون الخزان مليئا فقط. يبين الشكل رقم (٥,٢٥) مسقط الحصيرة مقسمة إلى ثلاثة قطاعات مع قيمة معامل رد فعل التربة في كل قطاع حسب الجدول رقم (٥,٧).



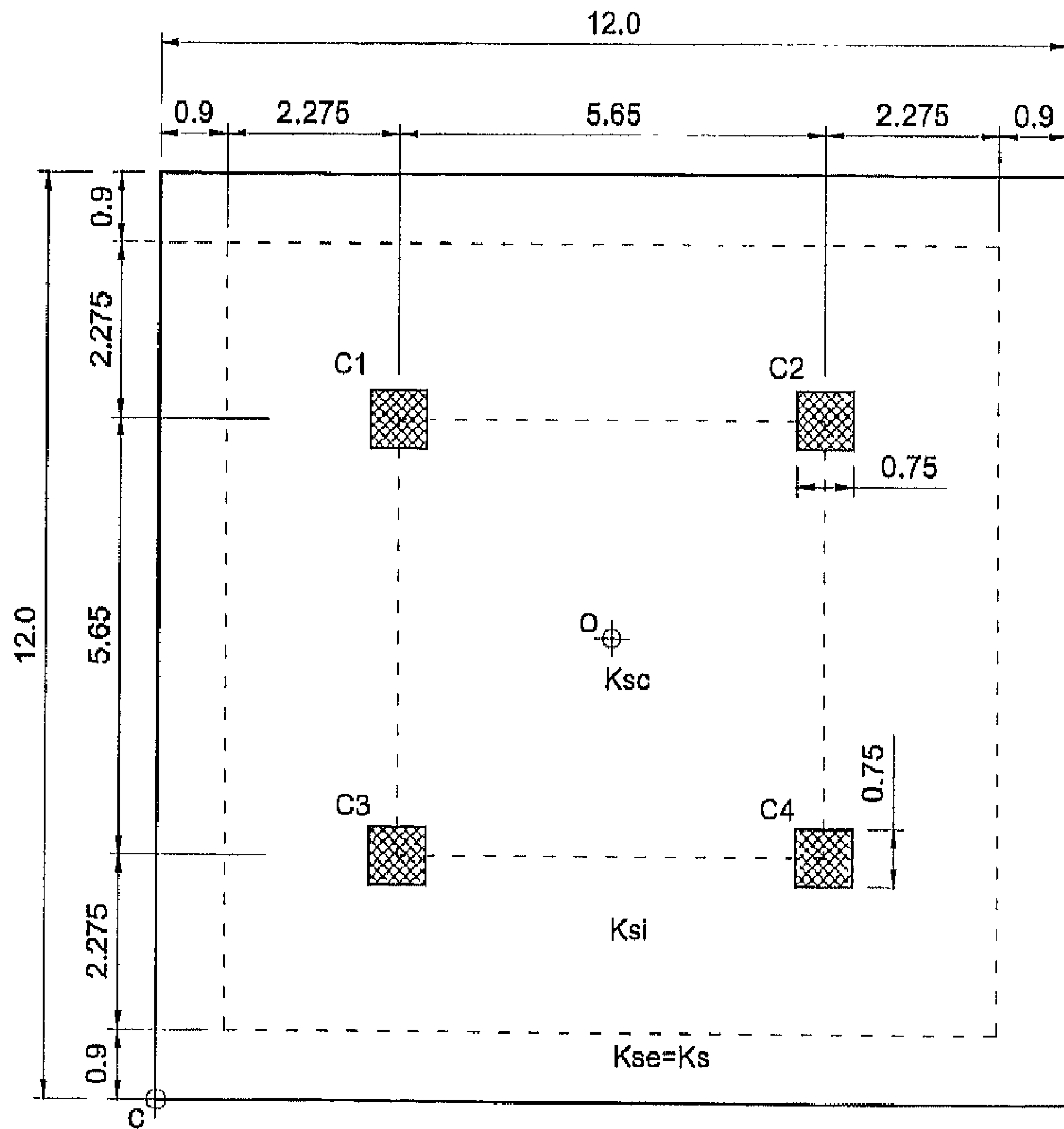
الشكل رقم (٥,٢٤). مقطع رأسي في الخزان مع الحصيرة.

الغاية من المثال

تصميم حصيرة خزان مربعة الشكل مع اعتبار حالة استخدام القيمة الأصلية الثابتة لمعامل رد فعل التربة في كل عقد الحصيرة، وحالة تمثيل ارتباط النوابض بشكل مبسط باستخدام ثلاثة قطاعات "مركزية، وسطية، ومحيطية" مع قيم K_s مختلفة، وكذلك حالة تمثيل ارتباط النوابض بمضاعفة صلابة النوابض الطرفية ومقارنة النتائج.

البرنامج المفضل استخدامه

SAP، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.



الشكل رقم (٥,٢٥). مسقط الحصيرة مع القطاعات الثلاثة (المركزي والداخلي والخارجي).

الجدول رقم (٥,٧). قيم معامل رد فعل التربة في القطاعات الثلاث.

$K_{se}=K_s$* (KN/m³)	K_{si}** (KN/m³)	K_{sc}** (KN/m³)
3000	2045	1826

* يتم حساب قيمة K_s وفق العلاقة (4.1)

$$K_s=120\times250 = 30000\ KN/m^3$$

** ملاحظة: يمكن حساب صلابات النوابض بتحديد قيمتي معامل رد فعل التربة في القطاعين الداخلي والمركزي (K_{si}, K_{sc}) طبقا للعلاقة (5.15) والمثال التطبيقي، (انظر الملحق A5) ويمكن الحصول عليهما من تقرير التربة في حال ورودهما به. في هذا المثال تم استخدام القيم بنفس النسبة الواردة في (Bowles, 2003) مع اعتبار قيمة K_s=30000 KN/m³ كما تم مراعاة توزع الأحمال وسهولة تقسيم الشبكة باختيار أبعاد القطاعات الثلاثة.

التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة

(أ) حالة الجاذبية فقط

باعتبار فرق وزن خرسانة الحصيرة عن التربة مع اعتبار سماكة الحصيرة h=1.4 m

$$q=34500/(12\times12)+1.4\times(25-18)= 249.4 < 250\ KN/m^3\ (Ok.)$$

(ب) حالة الجاذبية + الرياح

العزم الناتج عن الرياح

$$M=P_w\times h=1100\times18=19800\ KN$$

$$e=M/P = 19800/34500 = 0.574\ m$$

$$e=0.574 < L/6 = 12/6=2.0\ m$$

$$q1=[34500/(12\times12)]\times[1+6\times0.574/12]+1.4\times(25-18)=318\ KN/m^2$$

$$q1=318 < 250\times1.33=332.5\ KN/m^2\ (Ok.)$$

$$q2=34500/(12\times12)\times[1-6\times0.574/12]+1.4\times(25-18)=181\ KN/m^2$$

$$q2=181 > 0\ (ok.)$$

النماذج التحليلية (M1, M2, M3)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر Shell element نوع Thick shell، (انظر الشكل رقم ٥,٢٦) ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد حسب النموذج التحليلي الموافق أي M1, M2, M3.

حمل الجاذبية : يتم توزيع أحمال الأعمدة P_D باستخدام حمل الضغط Shell pressure على مساحة تحدد ببعدي العمودين في هذه المسألة.

$$P_D=34500/4=8625\ KN$$

حمل الرياح : يحول العزم M إلى ازدواج قوى (ضغط وشد) وتوزع حصة كل عمود P_w على مساحة تحدد ببعدي العمودين (العمودان C2, C4 يطبقان قوة ضغط على الحصيرة والعمودان C1, C3 قوة شد)

$$P_w = M/[(4.9+0.75)\times2]$$

$$P_w = 19800/[(4.9+0.75)\times 2] = 1752\ KN$$

يتم إتاحة ثلاث درجات حرية لكافة العقد، وهي الانتقال الرأسي والدوران حول المحورين في مستوي الحصيرة وإلغاء باقي درجات الحرية أي :

Restraints: u1, u2, r3

النموذج التحليلي M1

نعتبر قيمة ثابتة لمعامل رد فعل التربة K_s= 30000 KN/m^3 وهي القيمة الأساسية، (انظر الشكل رقم ٥,٢٦)

النموذج التحليلي M2

نعتبر ثلاث قيم لمعامل رد فعل التربة K_{sc}, K_{si}, K_{se} حسب القطاعات الثلاثة (المركزي، الداخلي والخارجي) على التوالي، (انظر الجدول رقم ٥,٧ والشكل رقم ٥,٢٥).

النموذج التحليلي M3

نعتبر قيمة ثابتة لمعامل رد فعل التربة K_s وهي القيمة الأساسية ونضاعف صلابة نوابض العقد الطرفية المحيطية، ويتم تحقيق ذلك في هذا المثال وفق ما يلي :

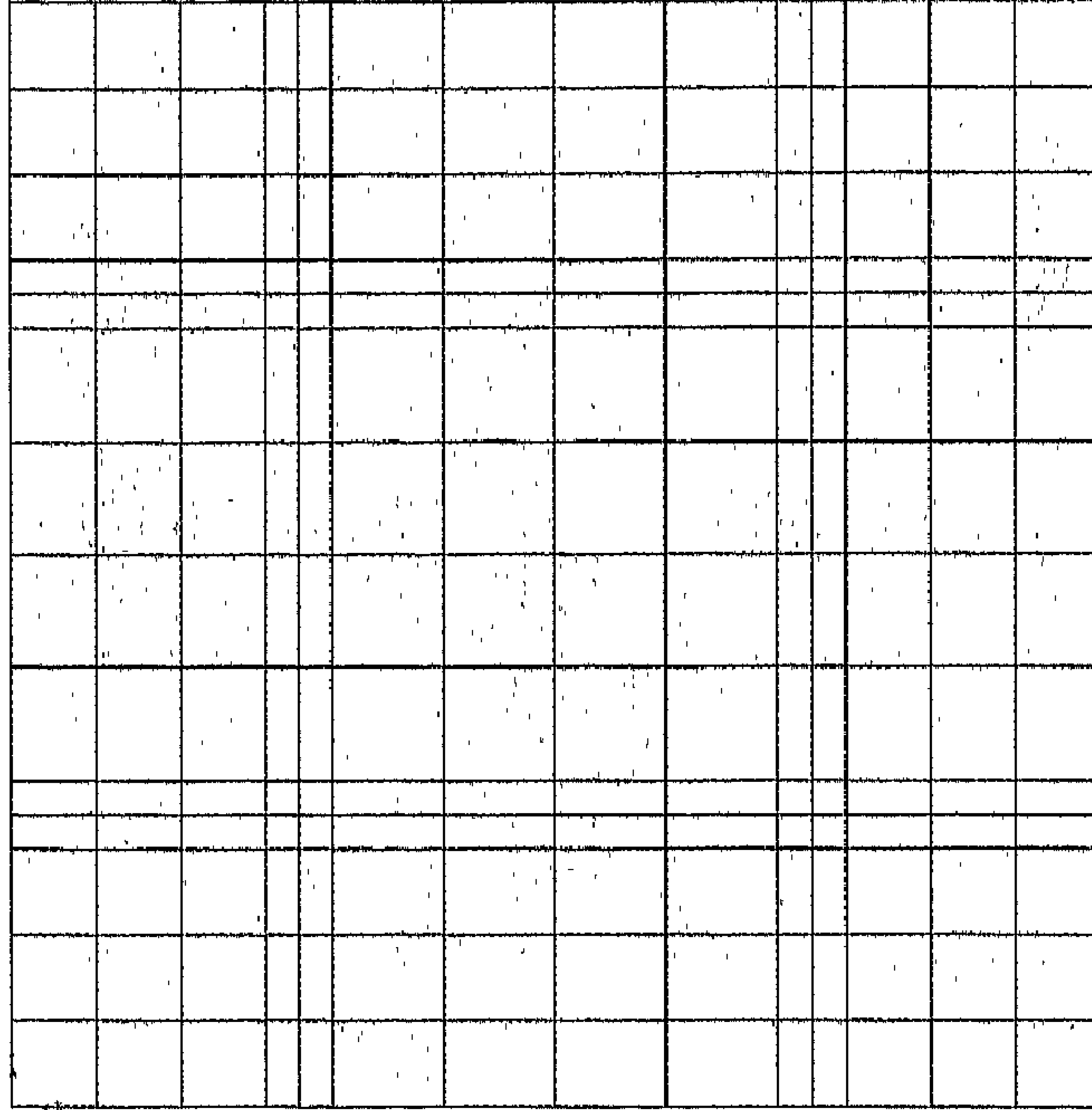
- نستخدم تعليمة Area spring لفرش قيمة K_s على كامل الحصيرة.
- نعتبر لكل عقدة محيطية قيمة صلابة إضافية Joint spring حسب حصة القطاع المحدد بالعقدة مع اعتبار قيمة K_s.

وبذلك تحصل كل عقدة محيطية على ضعف قيمة الصلابة مقارنة مع بقية العقد التي تحصل على قيمتها من الصلابة باعتبار K_s =30000 KN/m^3.

تراكيب الأحمال (يكتفى بالتركيبين التاليين) :

Comb1: 1.4 P_D

Comb2: 1. 2 P_D + 1.6 P_w



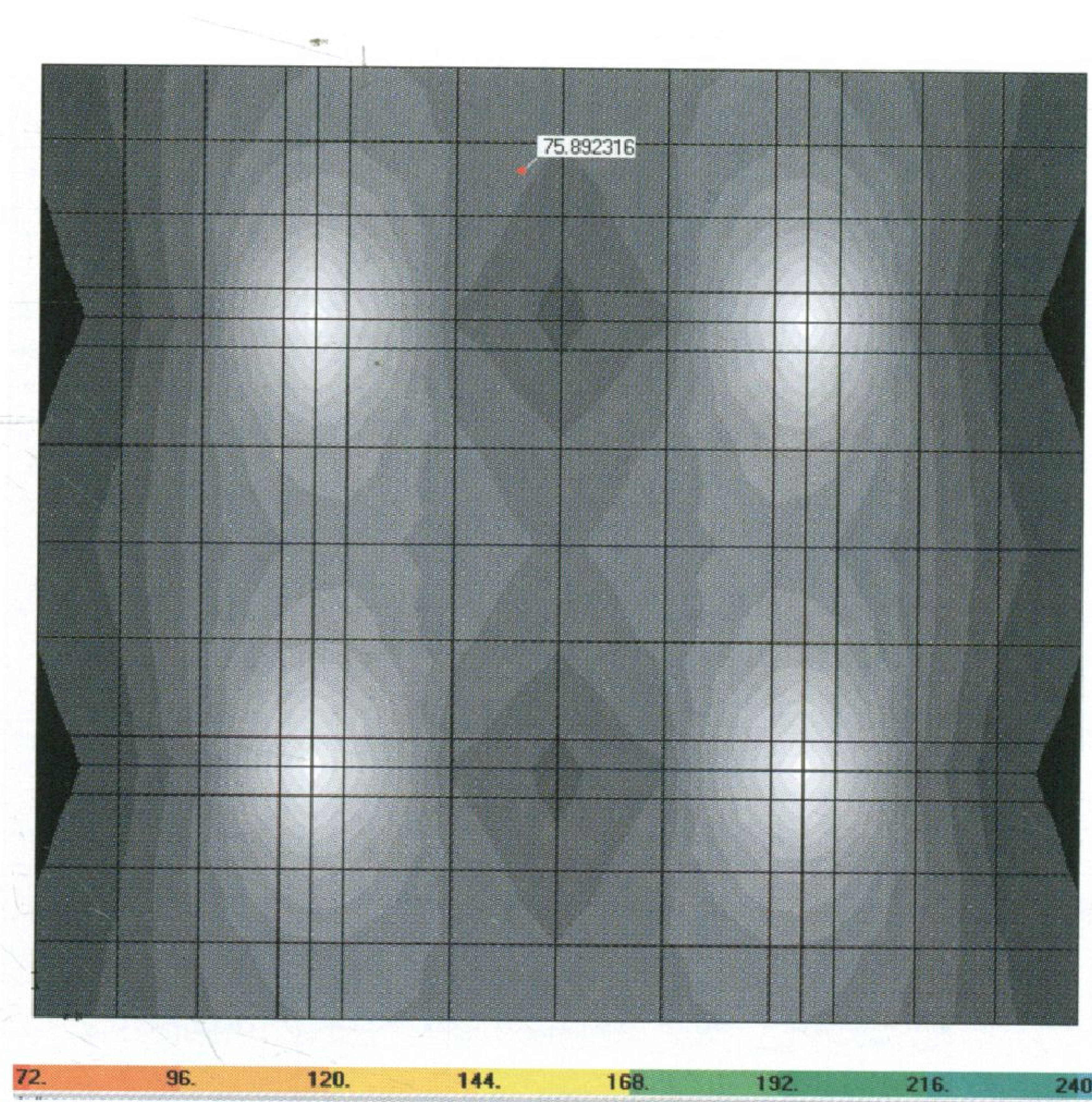
الشكل رقم (٥,٢٦). النموذج التحليلي M1, M2, M3.

النتائج

يظهر الشكل رقم (٥,٢٧) مخطط عزوم الانحناء للحصيرة بالاتجاه x وفق حالة تركيب الأحمال Comb1 وذلك في النموذج M2. ويمكن أيضًا استعراض باقي الجهود في كافة النماذج التحليلية.

مقارنة نتائج النماذج التحليلية الثلاثة

مقارنة شكل الهبوط : يبين الجدول رقم (٥,٨) مقارنة بين الهبوطات في النقطتين o, c مركز وزاوية الحصيرة على التوالي (انظر الشكل رقم ٥,٢٥) باستخدام النماذج التحليلية الثلاث M1, M2, M3. حيث يظهر هذا الجدول أن النموذج M3 هو الأقرب لتمثيل شكل الهبوط الصحني للحصيرة Dishing shape على اعتبار أن فرق الهبوط على الهبوط المركزي يحقق أعلى نسبة 36% في هذا النموذج.



الشكل رقم (٥,٢٧). مخطط عزوم الانحناء للحصيرة بالاتجاه X وفق حالة تركيب الأحمال Comb1.

الجدول رقم (٥,٨). قيم الهبوط في النماذج التحليلية الثلاث (P_D Load case).

	Δo (mm)	Δc (mm)	(Δo-Δc)/Δo %
M1	15.7	11.9	24
M2	21.3	15.7	26
M3	14.6	9.3	36

مقارنة قيم عزوم الانحناء الأعظمية : يبين الجدول رقم (٥,٩) قيم عزوم الانحناء الأعظمية للحصيرة (على وجه العمود) باستخدام النماذج التحليلية الثلاثة M1, M2, M3 حيث يظهر هذا الجدول أن قيم عزوم الانحناء في النموذجين M2, M3 متقاربة وأكبر منها في النموذج M1.

الجدول رقم (٥,٩). قيم عزوم الانحناء الأعظمية (على وجه العمود) بالاتجاهين في الحصيرة في النماذج الثلاث.

	Max Ultimate BM (M11) KN.m/m (Comb2)	Max Ultimate BM (M22) KN.m/m (Comb2)
M1	2644	2474
M2	2908	2737
M3	2900	2718

تصميم المقاطع باعتبار النموذج التحليلي (M3)

التحقيق على القص (ثنائي الاتجاه): باعتبار أن ارتفاع الحصيرة h=1.4 والارتفاع الفعال d = 1.3 m وأن حمل العمود هو نفسه جهد القص (لتجنب الحساب الدقيق لجهد القص وذلك للسهولة ولصالح الأمان). نختار من أجل تدقيق القص أحد الأعمدة على اعتبار أن جميع الأعمدة متماثلة الأحمال، وعلى اعتبار الحالة Comb2 لأنها ذات الجهد الأكبر

$$V_u=1.2\ P_D+1.6P_W$$

$$V_u= 1.2\times8625+1.6\times1752= 13153\ KN$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_o = 2(0.75+1.3) + 2(0.75+1.3) = 8.2\ m$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{3}b_0 d,\ V_c=\frac{\sqrt{30}}{3}(8.2\times1.3)\times1000=19462\ KN$$

$$V_u=13153<0.75\times19462=14597\ KN\ (Ok.)$$

حساب التسليح (التركيب Comb2 هو التركيب الحرج)

التسليح العلوي (الاتجاه X)

$$M_{umax} = 0,\ \rho = \rho_{min} = 0.0018$$

التسليح السفلي (الاتجاه X)

$$M_{umax} = 2900\ KN.m/m,\ \rho = 0.0048$$

التسليح العلوي (الاتجاه Y)

$$M_{umax} = 0,\ \rho = \rho_{min} = 0.0018$$

التسليح السفلي (الاتجاه Y)

$$M_{umax} = 2718\ KN.m/m,\ \rho = 0.0045$$

ملاحظة

تم تحويل العزوم الناتجة عن الرياح إلى قوى ضاغطة وشادة باستخدام طرق يدوية تقريبية وربما تكون مطولة كما هو في المثال (٥,٤). تجدر الإشارة إلى أنه لتلافي ذلك وللحصول على دقة أعلى لتحميل الحصيرة بالعزوم الناتجة عن القوى الجانبية يمكن نمذجة كامل المنشأ (الخزان مع الحصيرة)، وبالتالي يتم نقل القوى من المنشأ العلوي إلى الحصيرة بشكل آلي دون الحاجة إلى حسابات يدوية.

المثال (٥,٤): حصيرة منشأ صناعي دائرية الشكل

Circular Raft of Industrial Structure

يطلب تصميم حصيرة لمنشأة برجية صناعية، (انظر الشكل رقم ٥,٢٨)، مع العلم أن وزن البرج المعدني P_D وحمل التشغيل (الحمل الحي) P_L والعزم الناتج عن

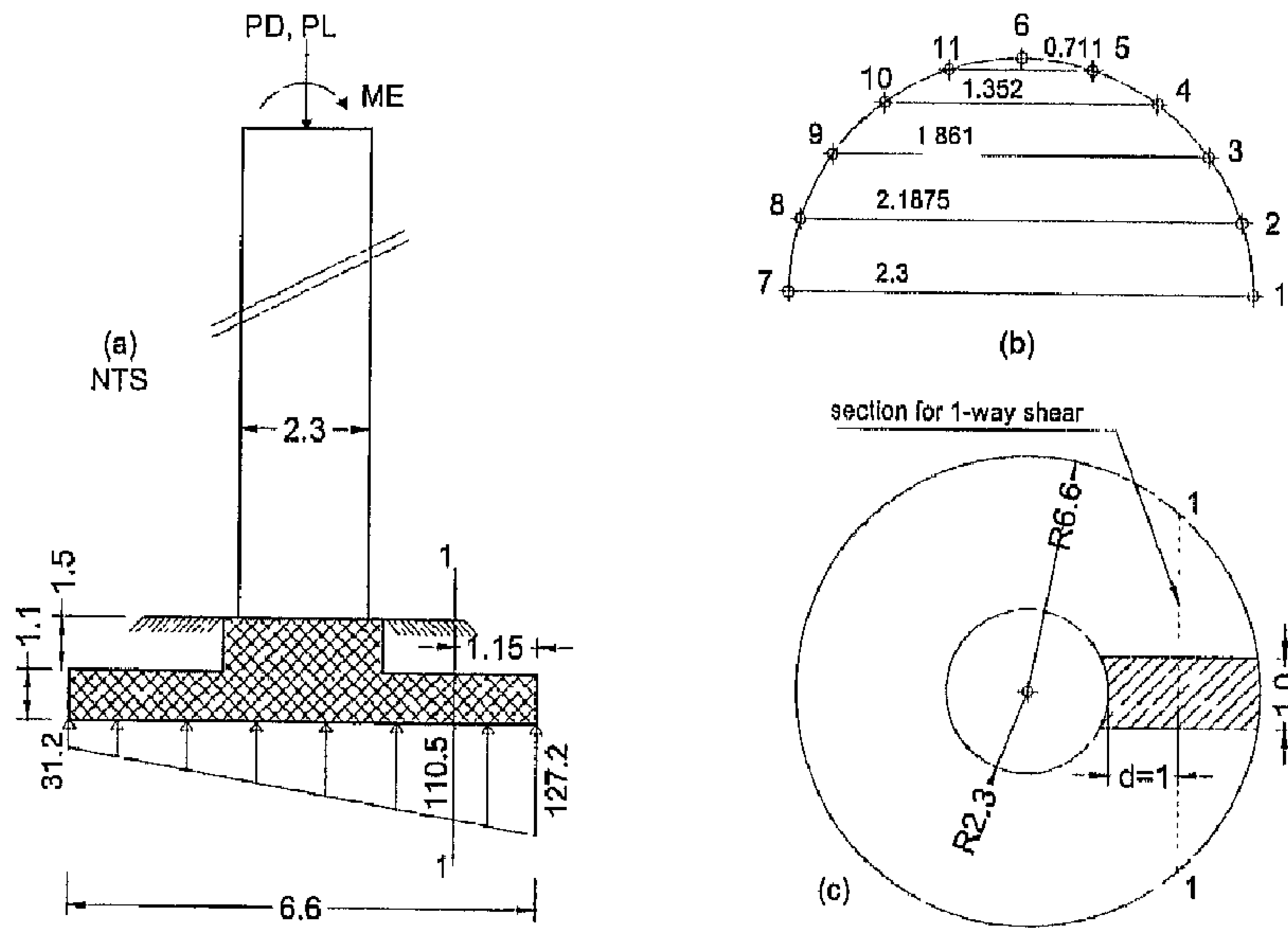
الزلازل M_E موضحة بالجدول رقم (٥,١٠) وأن تحمل التربة المسموح q_a = 100 KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa. يمكن استخدام المعاملات f2=1.1, f3=1.33، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

نمذجة حصيرة دائرية الشكل، مع تحقيق تحمل التربة والتصميم على القص والانحناء، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAP، خطوات النمذجة التفصيلية موضحة في الملحق B4، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.



الشكل رقم (٥,٢٨). حصيرة منشأ صناعي: (a) مقطع رأسي في الحصيرة مع المنشأة مع مخطط إجهاد التربة لحالة Comb2، (b) ترقيم العقد لنصف الرقبة، (c) مسقط الحصيرة مع مقطع القص أحادي الاتجاه.

الجدول رقم (١٠,٥). قيم الأحمال التشغيلي المؤثرة على الحصيرة.

P_D (KN)	P_L (KN)	M_E (KN.m)
290	580	1355

تحقيق عدم تجاوز تحمل التربة

أ) حالة الجاذبية فقط : (D+L)

وزن الحصيرة باعتبار سماكتها h=1.1 m

$$W1=(\pi\times6.6^2/4)\times1.1\times25=940\ KN$$

وزن الرقبة Pedestal

$$W2=(\pi\times2.3^2/4)\times1.5\times25=156\ KN$$

وزن تربة الردم فوق الحصيرة (γ_{soil}=16.5 KN/m^3)

$$W3=[\pi/4\times(6.6^2-2.3^2)]\times1.5\times16.5=744\ KN$$

$$\Sigma P_D = 940+156+744+290 = 2130\ KN$$

$$Ptotal = \Sigma P_D+P_L = 2130+580 = 2710\ KN$$

مساحة الحصيرة

$$A = \pi\times6.6^2/4= 34.2\ m^2$$

إجهاد ضغط التربة

$$q = 2710/34.2 = 79.2 < 100\ KN/m^2\ (Ok.)$$

ب) حالة الجاذبية + الزلازل : (D+L+E)

$$e=M/P = 1355/2710 = 0.5 \text{ m}$$

$$e=0.5 < R/8 = 6.6/8=0.825 \text{ m}$$

$$I_y= \pi r^4/4= \pi\, 3.3^4/4=93.1 \text{ m}^4$$

$$q=\frac{P}{A}+\frac{M_y}{I_y}x$$

$$q_{1,2}=\frac{(2130+580)}{34.2}\pm\frac{1355}{93.1}3.3 = 79.2 \pm 48 = (127.2,\ \ 31.2)\ \text{KN/m}^2$$

$$q_1 =127.2 < 1.33\times100 = 133 \text{ KN/m}^2 \text{ (Ok.)}$$

$$q_2= 31.2 \text{ KN/m}^2 > 0 \text{ (Ok.)}$$

النمذجة باستخدام برنامج SAP (النموذج التحليلي M1)

يتم تمثيل بلاطة الأساس باستخدام عناصر Shell element نوع Thick shell ، وذلك باستخدام الإحداثيات الأسطوانية Cylindrical system (انظر الشكل رقم ٥,٢٩) ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة

$$K_s = 120 \times 100 = 12000 \text{ KN/m}^3$$

حمل الجاذبية : يتم توزيع الحمل الميت بشكل موزع بانتظام على مساحة عناصر الرقبة

$$\text{Pedestal Area} = \pi \times 2.3^2/4 = 4.15\ m^2$$

$$q_{D1} = (156+290)/4.15 = 107.5\ KN/m^2$$

ويتم توزيع وزن تربة الردم (ارتفاع 1.5 m) على عناصر الحصيرة خارج الرقبة

$$q_{D2} = 1.5 \times 16.5 = 24.75\ KN/m^2$$

ويتم كذلك توزيع الحمل الحي بنفس الطريقة

$$q_L = 580/4.15 = 139.8\ KN/m^2$$

أحمال الزلازل: يحول العزم M_E إلى ازدواج قوى (ضغط وشد) توزع على عقد الرقبة وتحسب حصة كل عقدة حسب بعدها عن المركز، انظر الملحق A4 والجدول رقم (٥,١١).

يتم إتاحة ثلاث درجات حرية لكافة العقد، وهي الانتقال الرأسي والدوران حول المحورين في مستوي الحصيرة و إلغاء باقي درجات الحرية أي

Restraints: u1, u2, r3

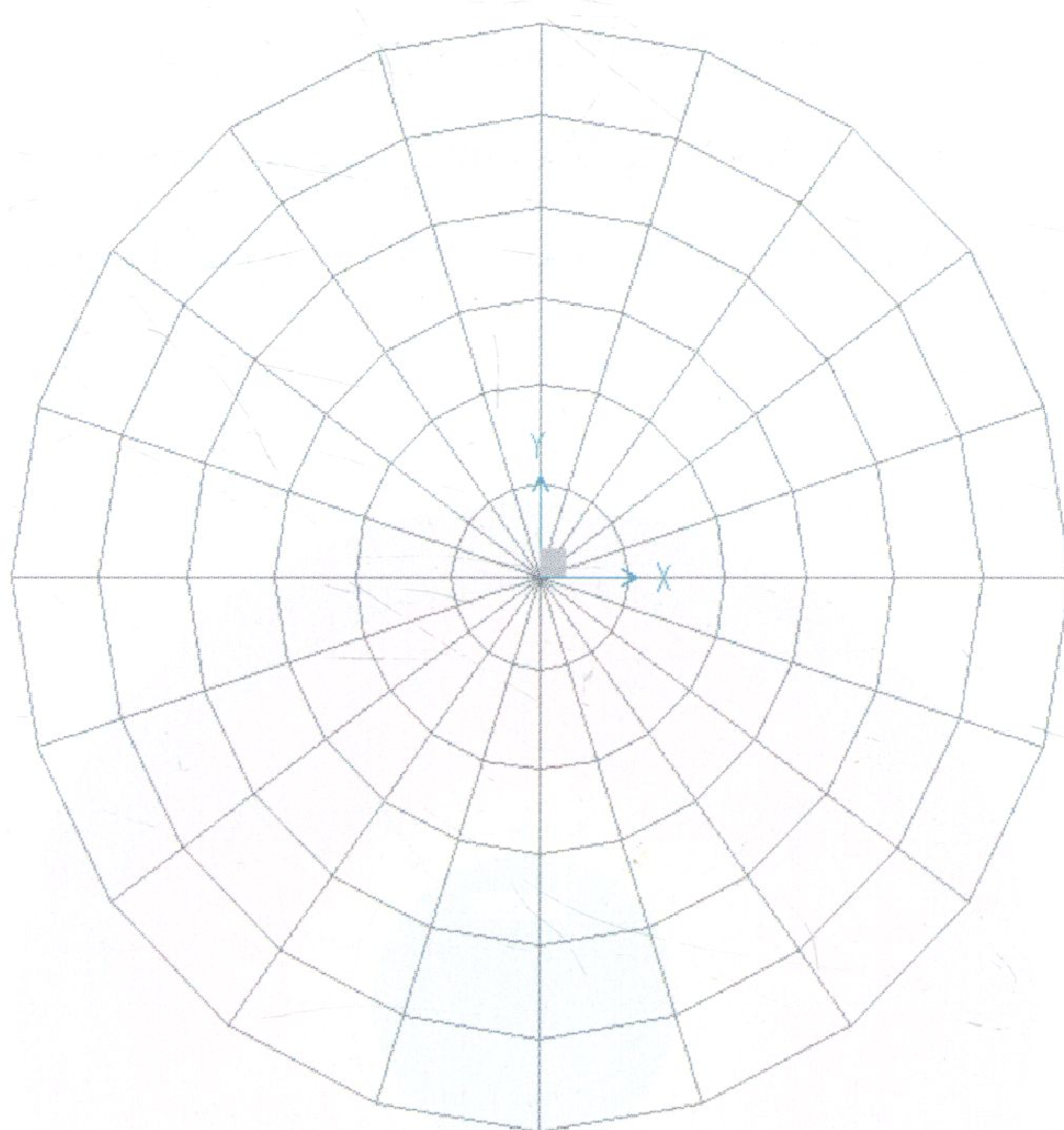
الجدول رقم (٥,١١). قيم أحمال الضغط والشد المؤثرة (M_E) على الحصيرة (نصف عقد الرقبة)، انظر الملحق A4.

رقم العقدة	1, 7	2,8	3,9	4,10	5,11	6
قيمة الحمل KN	-196.5,196.5	-93.4, 93.4	-79.5, 79.5	-57.7, 57.7	-30, 30	0

تراكيب الأحمال

Comb1: 1.2 D + 1.6 L

Comb2: 1.2 D + 1.0 L + 1.0 E



الشكل رقم (٥,٢٩). النموذج التحليلي M1.

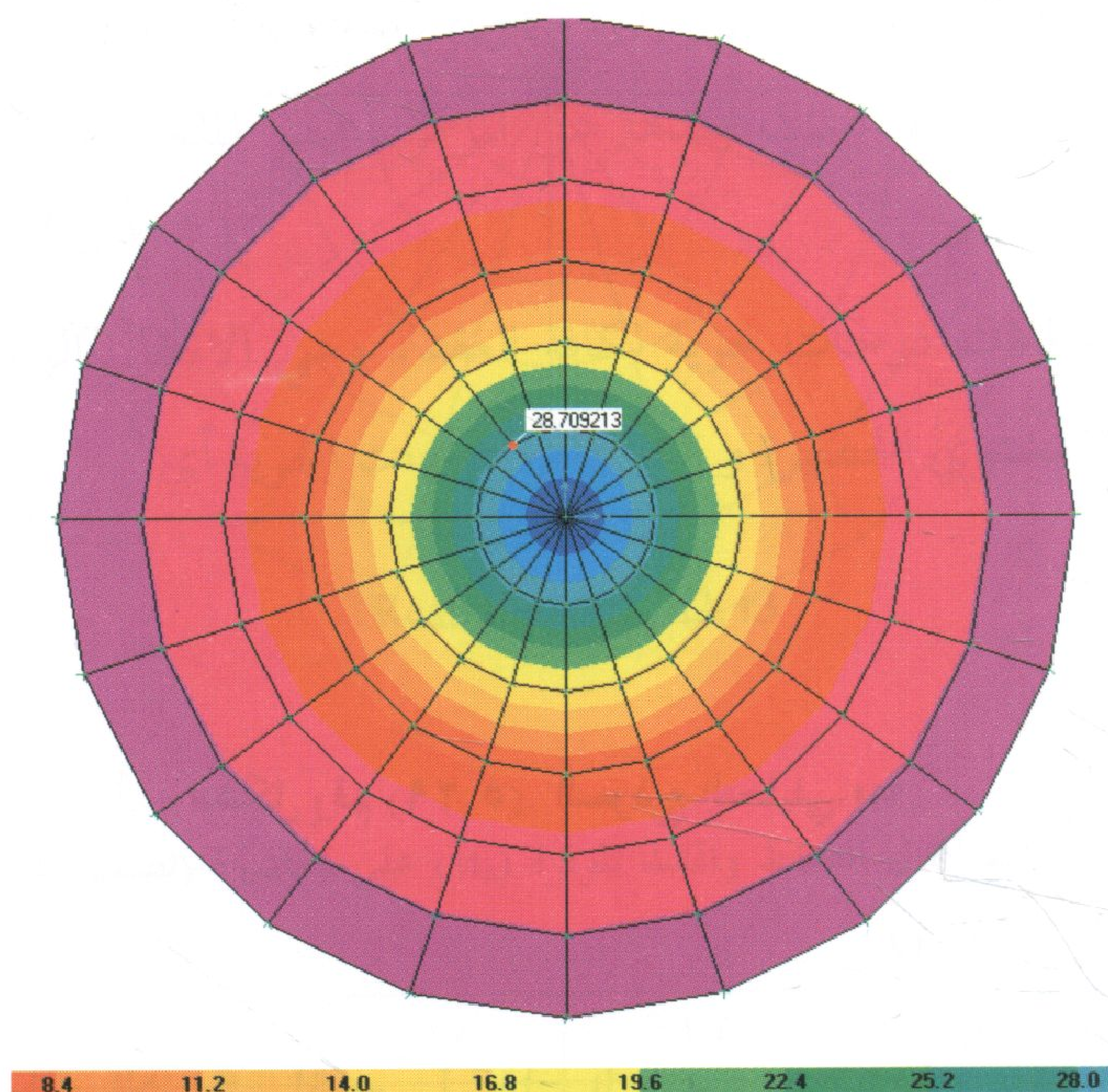
النتائج

يتم التحليل الإنشائي للحصول على النتائج، يبين الشكل رقم (٥,٣٠) مخطط عزم الانحناء بالاتجاه الشعاعي M11 وذلك للتركيب Comb1. يظهر من النتائج أن العزم الشعاعي Radial moment على الغالب بقيمة موجبة (تسليح سفلي)، ويزداد باتجاه

المركز في حالة التركيب Comb1. أما في حال التركيب Comb2 فيكون بقيمة موجبة على طرف أحد أطراف الحصيرة وقيمة سالبة على الطرف المقابل. بالنسبة للعزم القوسي Tangential moment فيكون بقيمة موجبة (تسليح سفلي) ويزداد باتجاه المركز في حالة التركيب Comb1. أما في حال التركيب Comb2 فيكون العزم بقيمة موجبة على كامل الحصيرة.

تصميم المقاطع

التحقيق على القص: يتم اعتبار القص (أحادي الاتجاه) فقط في هذه المسألة ؛ لأنه المهيمن مع اعتبار حالة التركيب Comb2 لأنها الأخطر. باعتبار شريحة بعرض 1m تقع في وسط الحصيرة والمقطع (١,١) على بعد d=1.1 - 0.1= 1.0 m من الرقبة ، (انظر الشكل رقم ٥,٢٦).



الشكل رقم (٥,٣٠). مخطط عزم الانحناء بالاتجاه الشعاعي M11.

$$V = 1.15\times(127.2+110.5)/2 = 137\ KN/m$$

$$V_u = f1\times V = 1.1\times 137 = 151\ KN/m$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd\ ,\ V_c = \frac{\sqrt{30}}{6}(1\times 1)\times 1000 = 913\,KN$$

$$V_u = 151 < 0.75\times 913 = 684.75\ KN/m^2\ (Ok.)$$

التسليح لمقاومة عزم الانحناء (Comb2)

التسليح الشعاعي السفلي

$M_{11} = 242$ KN.m/m, $\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ 16@110)

التسليح الشعاعي العلوي

$M_{11} = -12$ KN.m/m, $\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ 16@110)

التسليح القوسي السفلي

$M_{22} = 240$ KN.m/m, $\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ 16@110)

التسليح القوسي العلوي

$\rho = \rho_{min} = 0.0018$ (ϕ 16@110)

مخطط التسليح : انظر الملحق C8.

المثال (٥,٥): حصيرة جزئية غير منتظمة Irregular Raft Foundation

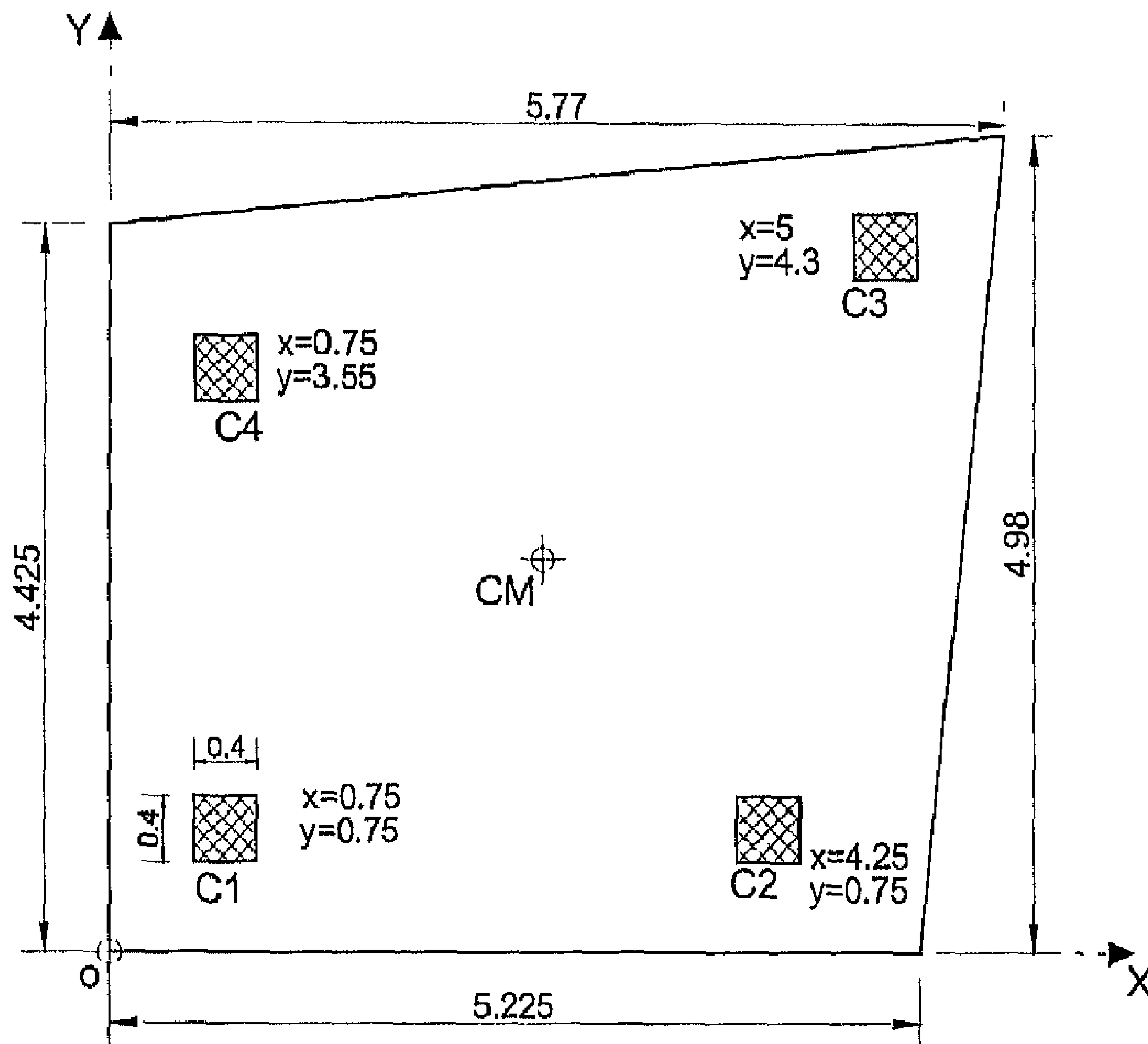
يطلب تصميم حصيرة لأربعة أعمدة متقاربة، (انظر الشكل رقم ٥,٣١) مع العلم أن الأحمال (ميتة + حية) موضحة بالجدول رقم (٥,١٢) وتحمل التربة المسموح الصافي q_{an} = 220 KPa وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa، إحداثيات مراكز الأعمدة بالنسبة للنقطة o موضحة على الشكل أيضًا. يمكن استخدام المعامل fl=1.35، (انظر الملحق B1).

الغاية من المثال

تصميم حصيرة ذات شكل غير منتظم.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، ملف النموذج التحليلي: (انظر الملحق D1).



الشكل رقم (٥,٣١). مسقط الحصيرة.

الجدول رقم (٥,١٢). قيم أحمال الأعمدة/الجدران التشغيلية.

رقم العمود	C1	C2	C3	C4
P (D+L) (KN)	1100	1300	1300	1200

الخطوة الأولى: تحديد أبعاد الحصيرة

يتم تحديد مركز ثقل القوى المؤثرة على الحصيرة، وذلك بأخذ عزوم القوى حول نقطة اعتبارية مثلا النقطة o وفق الجدول رقم (٥,١٣)

$$x_{CF}=1375/490 = 2.8 \text{ m}$$

$$y_{CF}=1165/490 = 2.38 \text{ m}$$

إحداثيات مركز كتلة الأساس CM (تحسب من برنامج أوتوكاد):

$$x_{CM}= 2.8 \text{ m}$$

$$y_{CM}= 2.39 \text{ m}$$

يتم اختيار حدود الحصيرة باعتبار سهولة التنفيذ وتمركز مركز كتلة الحصيرة CM مع مركز القوى المؤثرة CF وذلك باستخدام تقنية إيجاد مركز كتلة مسطح مستوي بمساعدة بعض التعليمات في برنامج الرسم الأوتوكاد، (انظر الملحق A2). في هذه المسألة مركز القوى ومركز كتلة الأساس منطبقان إلى حد بعيد (الفارق صغير جدًا). في حال عدم انطباق مركز القوى مع مركز الكتلة يتم إزاحة أو تدوير الحدود الخارجية للحصيرة للحصول على الانطباق ما أمكن مع الانتباه إلى أن مقدارا صغيرا للامركزية من مرتبة 2.5% من بعد الحصيرة الموافق يمكن أن يزيد إجهاد التربة بمقدار 15%.

الجدول رقم (٥,١٣). تحديد مركز الأحمال.

رقم العمود	P (KN)	x (m)	y (m)	P×x (KN.m)	P×y (KN.m)
C1	1100	0.75	0.75	825	825
C2	1300	4.25	0.75	5525	975
C3	1300	5	4.3	6500	5590
C4	1200	0.75	3.55	900	4260
Σ	4900			13750	11650

الخطوة الثانية: تحقيق عدم تجاوز تحمل التربة

على اعتبار أن ارتفاع الحصيرة h= 60 cm، ومساحة الحصيرة $A=25.77\ m^2$ (يحسب من برنامج الرسم) وبإدخال فرق وزن الأساس عن التربة

$$q = (4900/25.77)+0.6\times(25-18) = 194.3 < 220\ KN/m^2\ (Ok.)$$

الخطوة الثالثة: النموذج التحليلي — M1

يتم تمثيل الحصيرة باستخدام عناصر بلاطة Slab element نوع Mat، (انظر الشكل رقم ٥,٣٢) أما الأعمدة فنوعها Column ويتم تمثيل التربة باستخدام نوابض ذات صلابة تحدد وفقا لمساحة التأثير ومعامل رد فعل التربة

$$K_s = 120 \times 220 = 26400\ KN/m^3$$

يتم إدخال الأحمال الرأسية التشغيلية للأعمدة بتعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null، أخيرا يتم تشكيل حالة تركيب الأحمال

Comb1: 1.35 (D+L)

الخطوة الرابعة: نتائج التحليل الإنشائي

يتم إجراء التحليل الإنشائي والحصول على النتائج، انظر الشكل رقم (٥,٣٣) الذي يبين مخطط عزم الانحناء لشرائح الحصيرة الاتجاه x.

الخطوة الخامسة : تصميم المقاطع (النموذج M1، الحالة Comb1)

التحقيق على القص ثنائي الاتجاه – العمود C2 أو C3 مع العلم أن d=0.55 m

$$V_u = 1.35\times1300 = 1755 \text{ KN}$$

$$b_o = 2(a+d) + 2(b+d)$$

$$b_o = 2(0.4+0.55) + 2(0.4+0.55) = 3.8 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d \text{، } V_c = \frac{\sqrt{30}}{3}(3.8\times0.55)\times1000 = 3816 \text{ KN}$$

$$V_u = 1755 < 0.75\times3816 = 2862 \text{ KN (Ok.)}$$

التسليح العلوي (الاتجاه X)

$$M_u = -415 \text{ KN.m/m, } \rho = 0.0038$$

التسليح السفلي (الاتجاه X)

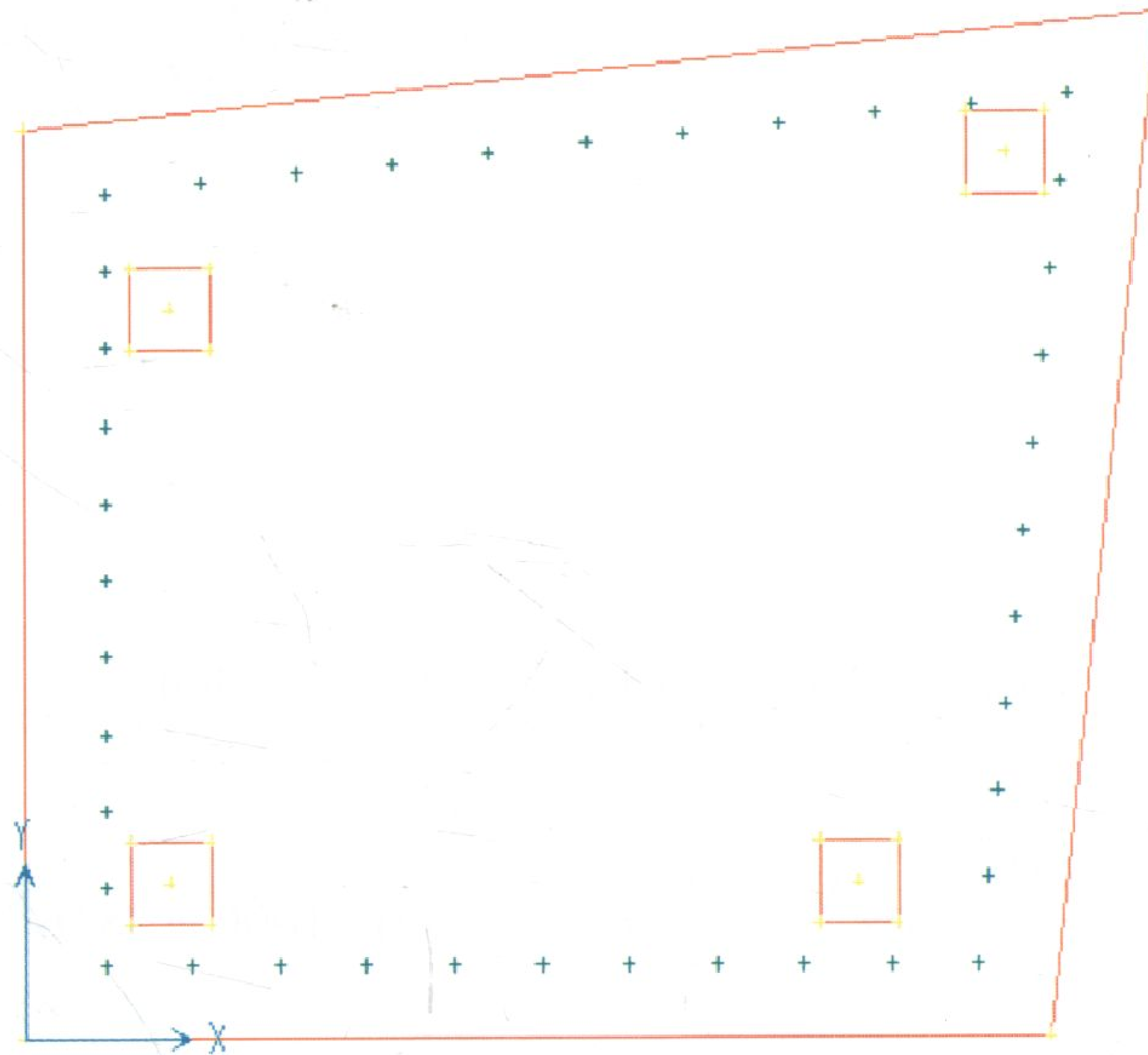
$$M_u = 104 \text{ KN.m/m, } \rho = \rho_{min} = 0.0018$$

التسليح العلوي (الاتجاه Y)

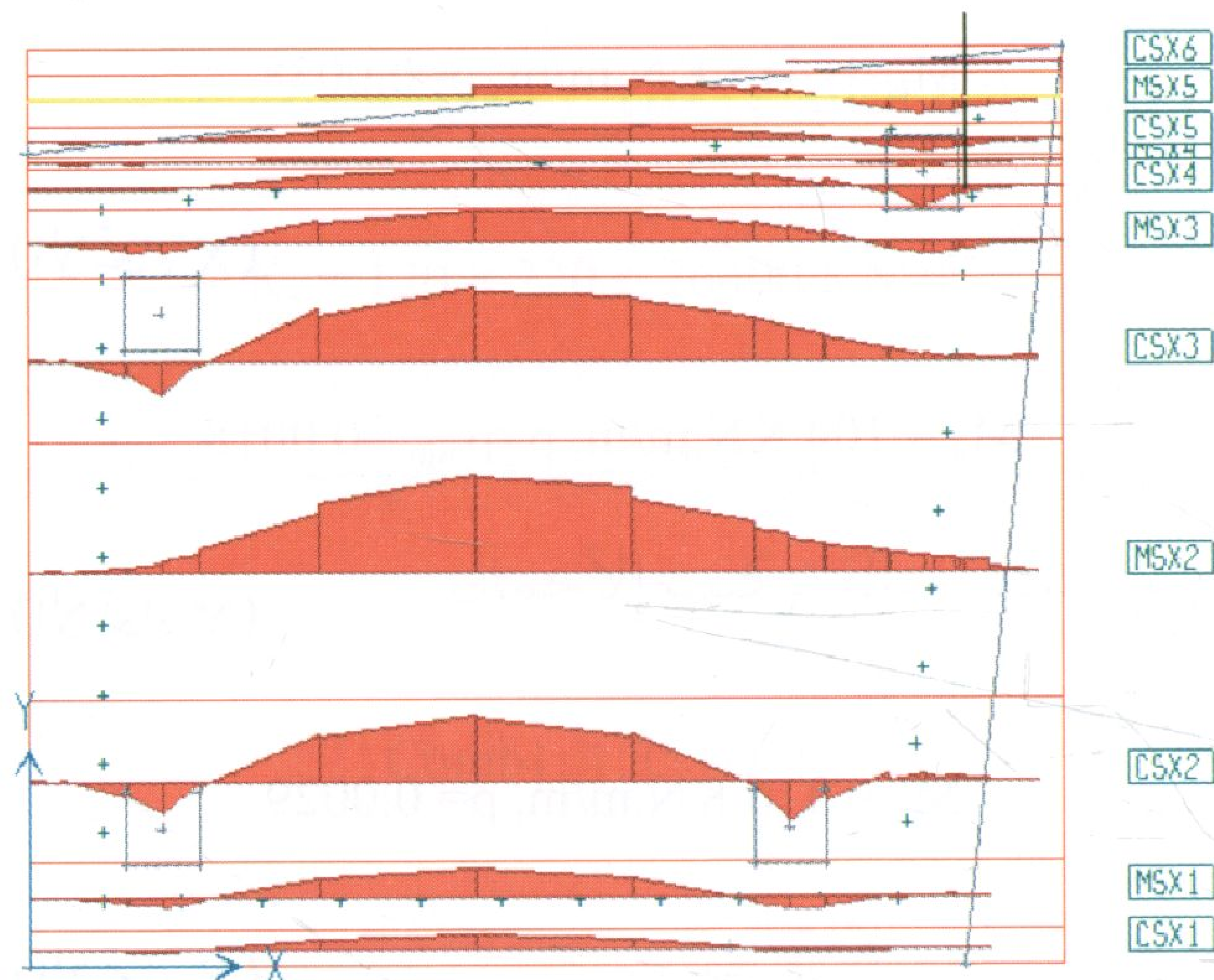
$$M_u = 316 \text{ KN.m/m, } \rho = 0.0029$$

التسليح السفلي (الاتجاه Y)

$$M_u = 151 \text{ KN.m/m, } \rho = \rho_{min} = 0.0018$$



الشكل رقم (٥,٣٢). النموذج التحليلي M1.



الشكل رقم (٥,٣٣). عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه x.

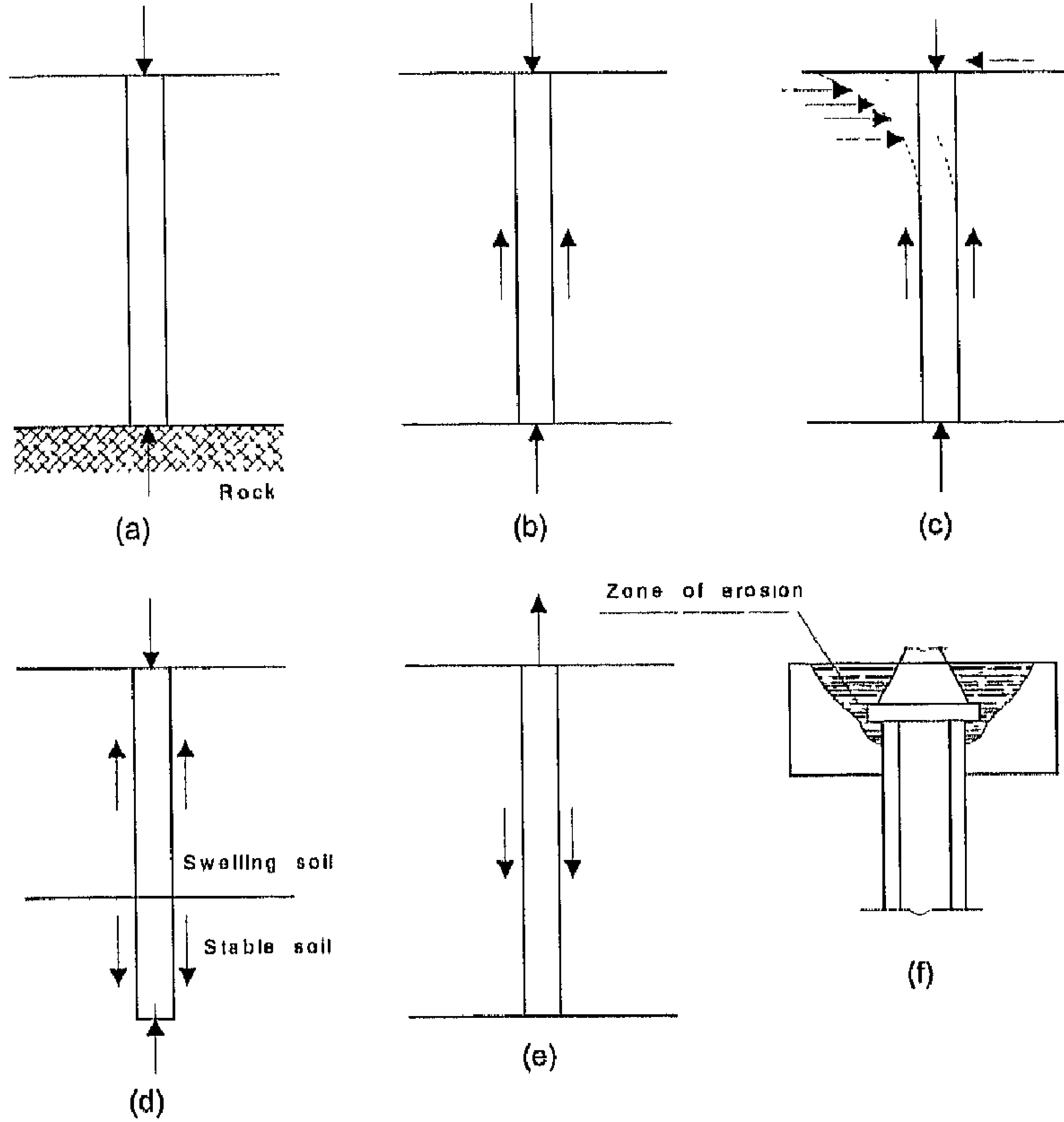
الفصل السادس

الأساسات العميقة (الأوتاد)
DEEP FOUNDATIONS (PILES)

(٦,١) مقدمة وتعريف
Introduction & Definition

يقصد بالوتد Pile العنصر الإنشائي المصنوع من الخشب، أو الخرسانة أو الحديد، والذي يستخدم لنقل الحمولات السطحية إلى الطبقات السفلى من التربة، ويقصد بقبعة الأوتاد Pile cap الجزء من الأساسات الوتدية المصبوبة في المكان والواصلة بين الأوتاد من الأعلى. يمكن أن يقوم الوتد بنقل الحمل إلى التربة عن طريق توزيعها رأسيا على طول جسم الوتد إلى التربة المجاورة أي عن طريق الاحتكاك friction أو عن طريق تطبيق الحمل إلى طبقة تربة صلبة أسفل الوتد أي بواسطة الارتكاز النقطي Point-bearing وهذا التقسيم فقط من أجل سهولة الفهم، ففي الواقع يمكن للوتد أن ينقل الحمل عن طريق الاحتكاك وارتكاز النهاية مجتمعين. فيما يلي بعض الحالات التي تتطلب استخدام نظام التأسيس باستخدام الأوتاد.

١- عندما تكون الطبقة العليا عالية القابلية للانضغاط وضعيفة لنقل الأحمال المعرضة إليها من المنشأ العلوي، تستخدم الأوتاد في هذه الحالة لنقل الحمولات إلى طبقة سفلى صخرية أو قاسية، (انظر الشكل رقم ٦,١ a).



الشكل رقم (٦,١). حالات استخدام الأوتاد.

٢- في حال عدم وجود طبقة قاسية على عمق معقول، يتم مقاومة الأحمال من خلال الاحتكاك بين التربة والوتد، (انظر الشكل رقم ٦,١ b).

٣- يمكن للأوتاد أن تقاوم القوى الأفقية بالإضافة إلى القوى الرأسية، وذلك في حالات كون القوى الأفقية كبيرة جدًا، مثل المنشآت الحاجزة للتربة والمباني العالية المعرضة للرياح والهزات الأرضية، (انظر الشكل رقم ٦,١ c).

٤- يمكن أن تستخدم الأساسات العميقة في الترب القابلة للانتفاخ التي تمتد إلى أعماق كبيرة حيث إن استخدام أساسات سطحية في مثل هذه الترب يمكن أن يعرض

المنشأ للرفع والتصدعات، فيمكن باستخدام الأوتاد الابتعاد عن طبقة التربة القابلة للانتفاخ إلى تربة أفضل، (انظر الشكل رقم ١ ,٦ d).

٥- أساسات بعض المنشآت مثل أبراج الطاقة والمنشآت العائمة Offshore platforms معرضة إلى قوى رفع يمكن في مثل هذه المنشآت استخدام الأوتاد لمقاومة قوى الرفع هذه، (انظر الشكل رقم ١ ,٦ e).

٦- يمكن استخدام الأوتاد في أساسات الجسور، وذلك لتجنب نقص تحمل التربة تحت الأساسات السطحية نتيجة التعرية Erosion قرب سطح الأرض، (انظر الشكل رقم ١ ,٦ f).

(٦,٢) تحمل الوتد المسموح
Allowable Pile Capacity (Das, 1995)

عند وجود طبقة صخرية أو طبقة رملية قاسية على عمق معقول، وفي حال وصول الوتد إلى هذه الطبقة فعندئذ تحمل الوتد الكلي Q_u يعتمد على قوة ارتكازه النقطي Q_p وعلى قوة احتكاك جسم الوتد Q_s مع التربة والمسببة بمقاومة القص بين التربة ومادة الوتد أي

$$Q_u=Q_p+Q_s \tag{6.1}$$

أما في حالة كون الطبقة الصخرية أو الطبقة القاسية على عمق بعيد فيعتمد تحمل الوتد الكلي عندئذ على قوة الاحتكاك فقط أي

$$Q_u=Q_s \tag{6.2}$$

في حالة كون قوة الاحتكاك قليلة ومهملة عندئذ

$$Q_u=Q_p \tag{6.3}$$

من أجل تصميم الأوتاد يجب معرفة تحمل الوتد المسموح Allowable load capacity: Q_{all} والتي تنتج عن الحمل الكلي بعد تقسيمه على عامل أمان FS يعادل 2.5-4 أي

$$Q_{all} = Q_u/FS \qquad (6.4)$$

كذلك للوتد تحمل مسموح على الشد T_{all} ، والجدير بالذكر أن الدارس الجيوتكنيكي يعطي المعلومات التالية في تقرير التربة :

١- طول الوتد وقطره وتباعد الأوتاد.

٢- تحمل الوتد المسموح على الضغط Allowable pile capacity-compression.

٣- تحمل الوتد المسموح على الشد Allowable pile capacity-tension.

يمكن كذلك أن تتحمل الأوتاد قوى عرضية Lateral loads ناتجة عن الزلازل أو القوى الأخرى وذلك عن طريق القص Shear والانحناء Bending. على كل حال موضوع مقاومة الأوتاد للقوى العرضية Lateral load resistance وتفاصيل حساب Q_p, Q_s خارج مجال هذا الكتاب، ويمكن للقارئ الرجوع إلى [2] و[6] من أجل المزيد من المعلومات عن هذا الموضوع.

(٦,٣) أنواع الأوتاد
Types of Piles

يمكن اختيار واحد من عدة أنواع للأوتاد، وذلك بحسب الحمل المطلوب نقله، ونوع التربة ومنسوب البساط المائي، وبشكل عام يوجد ثلاثة أنواع من الأوتاد:

١- أوتاد مصنوعة من الحديد مثل مقطع I.

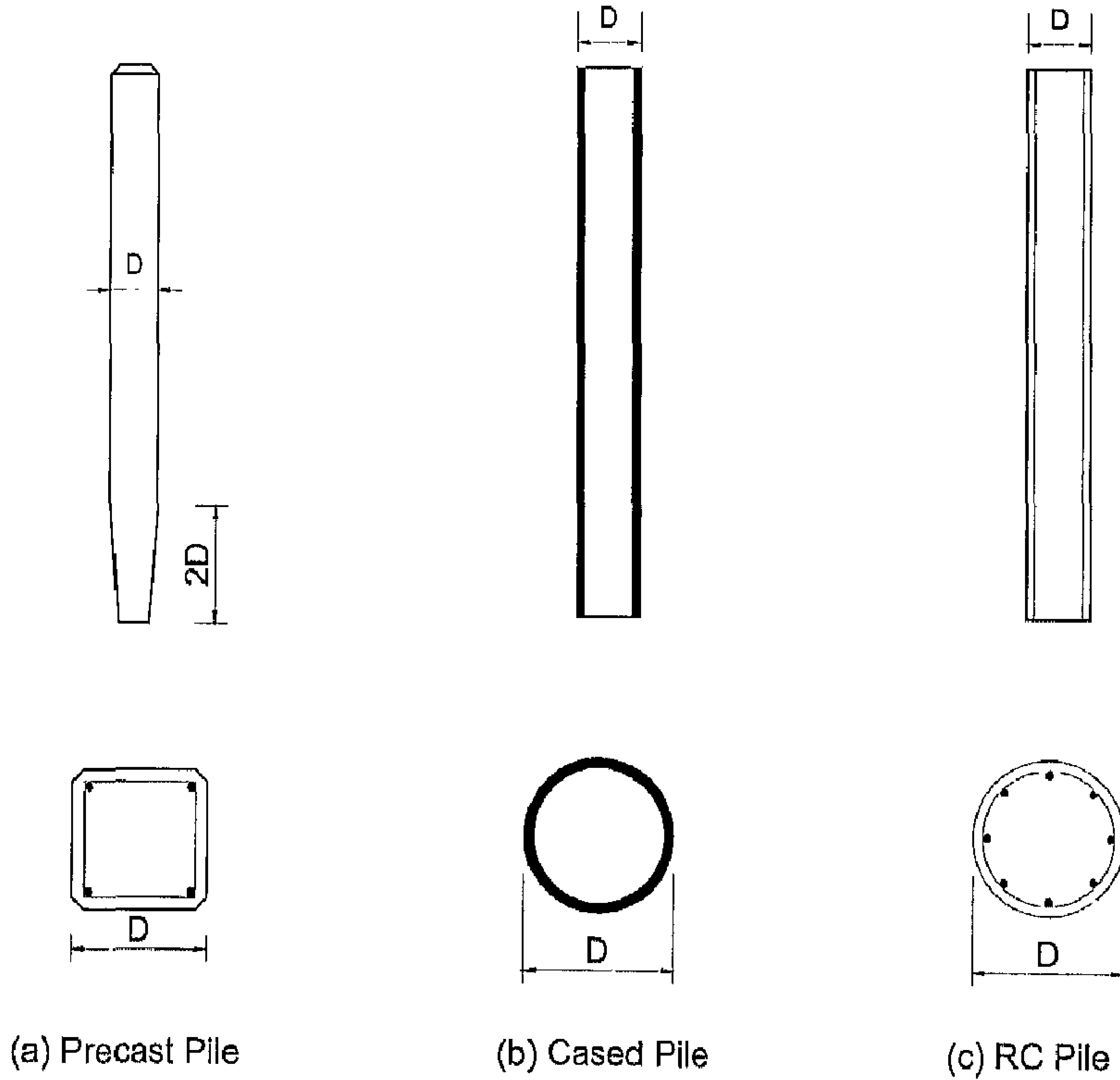
٢- أوتاد مصنوعة من الخرسانة سابقة الصنع أو صب بالمكان.

٣- أوتاد خشبية مصنوعة من جذوع الشجر.

(٦,٣,١) الأوتاد المصنوعة من الخرسانة

١- الأوتاد من الخرسانة سابقة الصنع يمكن أن تكون مسلحة بالفولاذ عادي المقاومة، ويمكن أن تكون مربعة أو مثمنة، (انظر الشكل رقم ٦,٢ a) ويمكن أن تكون مصنوعة من الخرسانة سابقة الإجهاد مع استخدام فولاذ عالي المقاومة.

٢- الأوتاد من الخرسانة صب بالمكان، ويمكن أن تصب ضمن حافظة دائمة من الحديد Cased piles، (انظر الشكل رقم ٦,٢ b) أو أوتاد خرسانة مسلحة RC Piles، (انظر الشكل رقم ٦,٢ c) تصب باستخدام حافظة Casing توضع بشكل مؤقت أثناء وضع قفص التسليح وصب الخرسانة ثم تسحب.



الشكل رقم (٦,٢). أنواع الأوتاد: (a) وتد من الخرسانة سابقة الصنع، (b) وتد خرساني ضمن حافظة، (c) وتد من الخرسانة المسلحة.

يمكن حساب حمل الوتد التصميمي المسموح Pile allowable load (Q_{allD}) بتطبيق قوانين ميكانيكا الإنشاءات، فمثلاً في حالة الأوتاد ضمن غمد دائم Cased piles يمكن حساب Q_{allD} وفق العلاقة (6.5)

$$Q_{allD} = A_s f_s + A_c f_c \quad (6.5)$$

حيث إن:

Q_{allD} Pile allowable load حمل الوتد التصميمي المسموح.

A_s مساحة الحديد Steel area.

f_s Steel allowable stress الإجهاد المسموح للحديد.

A_c مساحة المقطع من الخرسانة.

f'_c Concrete allowable stress الإجهاد المسموح للخرسانة.

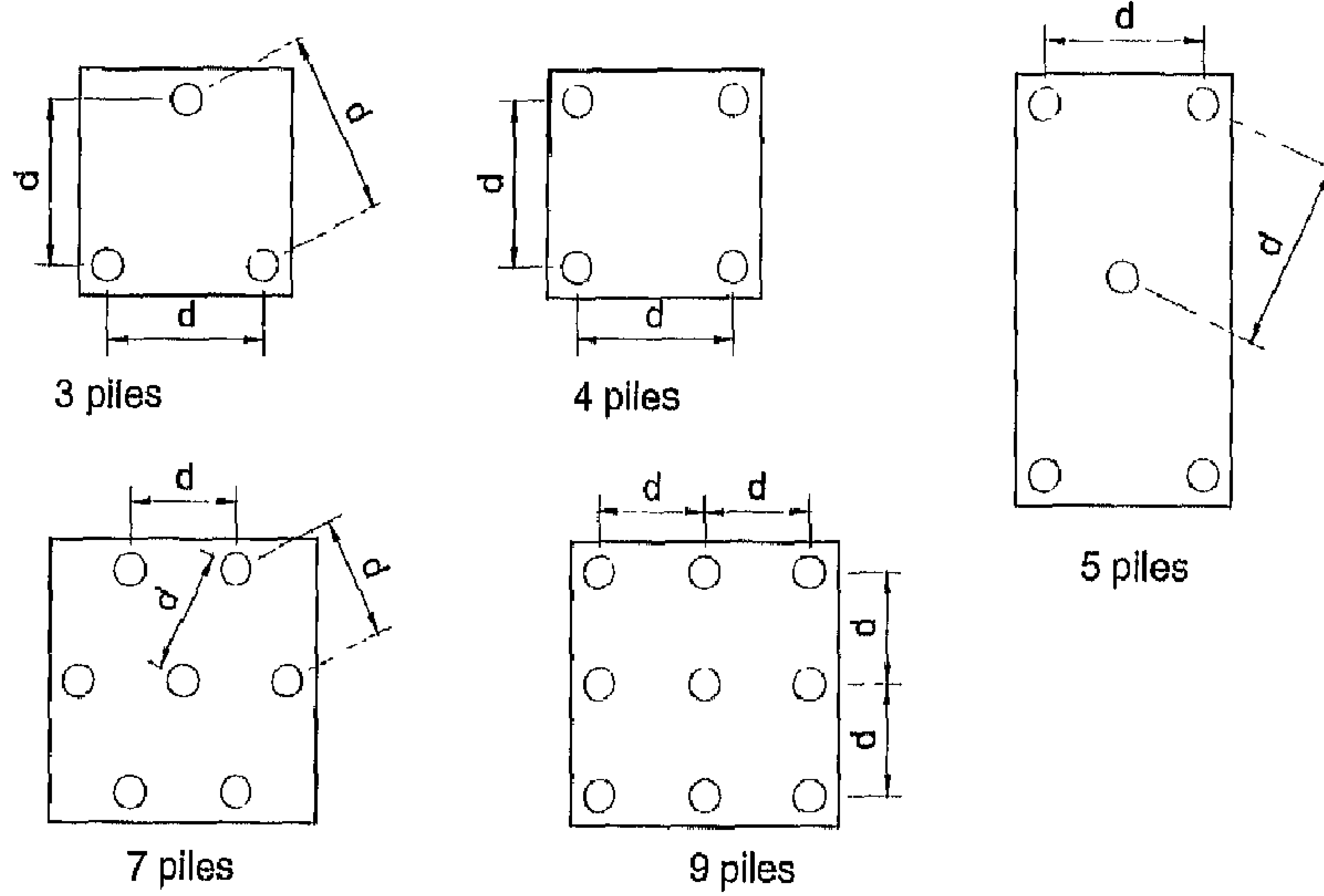
يجب التفريق بين مصطلحي تحمل الوتد المسموح Pile load capacity "Q_{all}" الذي يتعلق بالتربة والارتكاز والاحتكاك، ومصطلح حمل الوتد التصميمي المسموح Pile allowable load "Q_{allD}" الذي يتعلق بمواصفات الوتد والمادة المصنوع منها. ويجب التحقق من أن حمل الوتد التصميمي المسموح أقل من تحمل الوتد المسموح.

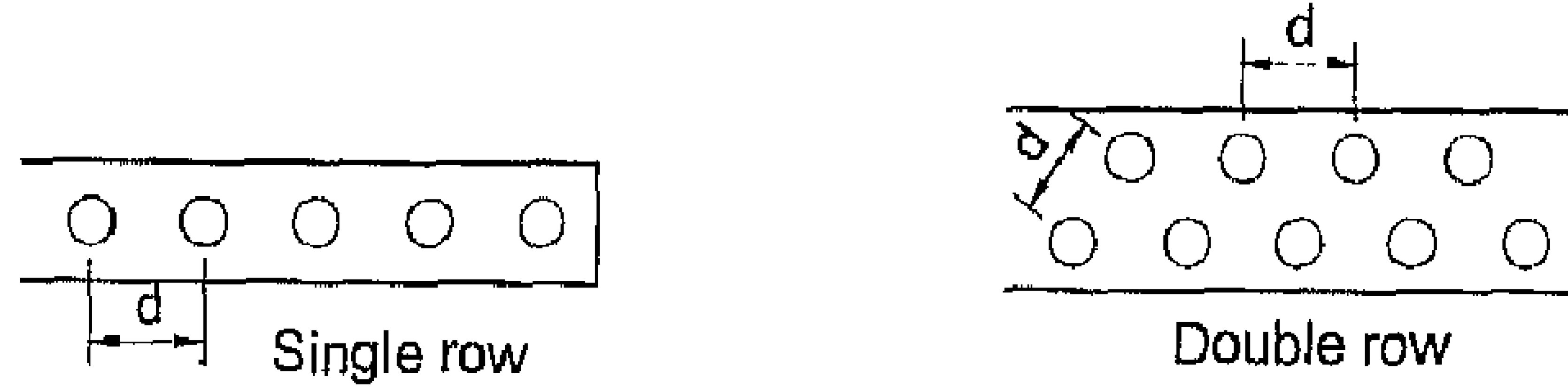
(٦,٤) مجموعات الأوتاد
Pile Groups

(٦,٤,١) أنواع مجموعات الأوتاد

تنفذ الأوتاد تحت العناصر الإنشائية (عمود، جدار، ... إلخ) عادة على شكل مجموعات Pile Groups. لا يفضل استخدام وتد واحد تحت هذه العناصر بل يفضل استخدام مجموعة أوتاد (اثنين أو ثلاثة على الأقل) وذلك لامتصاص اللامركزية وعدم التمركز الرأسي الذي قد يحدث أثناء التنفيذ. يبين الشكل رقم (٦,٣ a) بعض نماذج

صفوف مجموعات الأوتاد للأعمدة وقبعات هذه المجموعات والشكل رقم (٦,٣ b) بعض نماذج صفوف مجموعات الأوتاد للجدران وقبعات هذه المجموعات.





الشكل رقم (٦,٣). مجموعات الأوتاد: (a) نماذج صفوف أوتاد الأعمدة، (b) نماذج صفوف أوتاد الجدران.

(٦,٤,٢) كفاءة مجموعات الأوتاد Group-Piles Effeciency

إن تقرير حمل مجموعة الأوتاد مسألة معقدة، ولم يتم التوصل إلى حل جازم لها، حيث إنه عند إنشاء الأوتاد بجوار بعضها يمكن أن يحث تداخل في الإجهادات التي ينقلها كل وتد إلى التربة مما يؤدي إلى إنقاص تحمل مجموعة الأوتاد، أي أن تحمل

مجموعة الأوتاد أقل من جداء عدد الأوتاد بتحمل الوتد الواحد، ولهذا يجب الالتزام بحد أدنى لتباعد الأوتاد، (انظر الفقرة ٦,٥,١). تعرف كفاءة الأوتاد بالعلاقة (6.6)

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\Sigma Q_u} \tag{6.6}$$

حيث إن:

η معامل كفاءة مجموعة الأوتاد.

Qg(u) الحمل الحدي لمجموعة الأوتاد.

Qu الحمل الحدي للوتد.

يمكن استخدام العلاقة (6.7) لحساب كفاءة مجموعة الأوتاد التي تعمل بواسطة الاحتكاك، (انظر الشكل رقم ٦,٤)

$$\eta = 1 - [\frac{(n1-1)n2 + (n2-1)n1}{90n1 \times n2}]\theta \tag{6.7}$$

$$\theta = \tan^{-1} D/d \tag{6.8}$$

حيث إن:

n1 عدد الأوتاد باتجاه البعد Lg، n2 عدد الأوتاد باتجاه البعد Bg.

θ تقاس بالدرجات، D قطر الوتد، d تباعد الأوتاد.

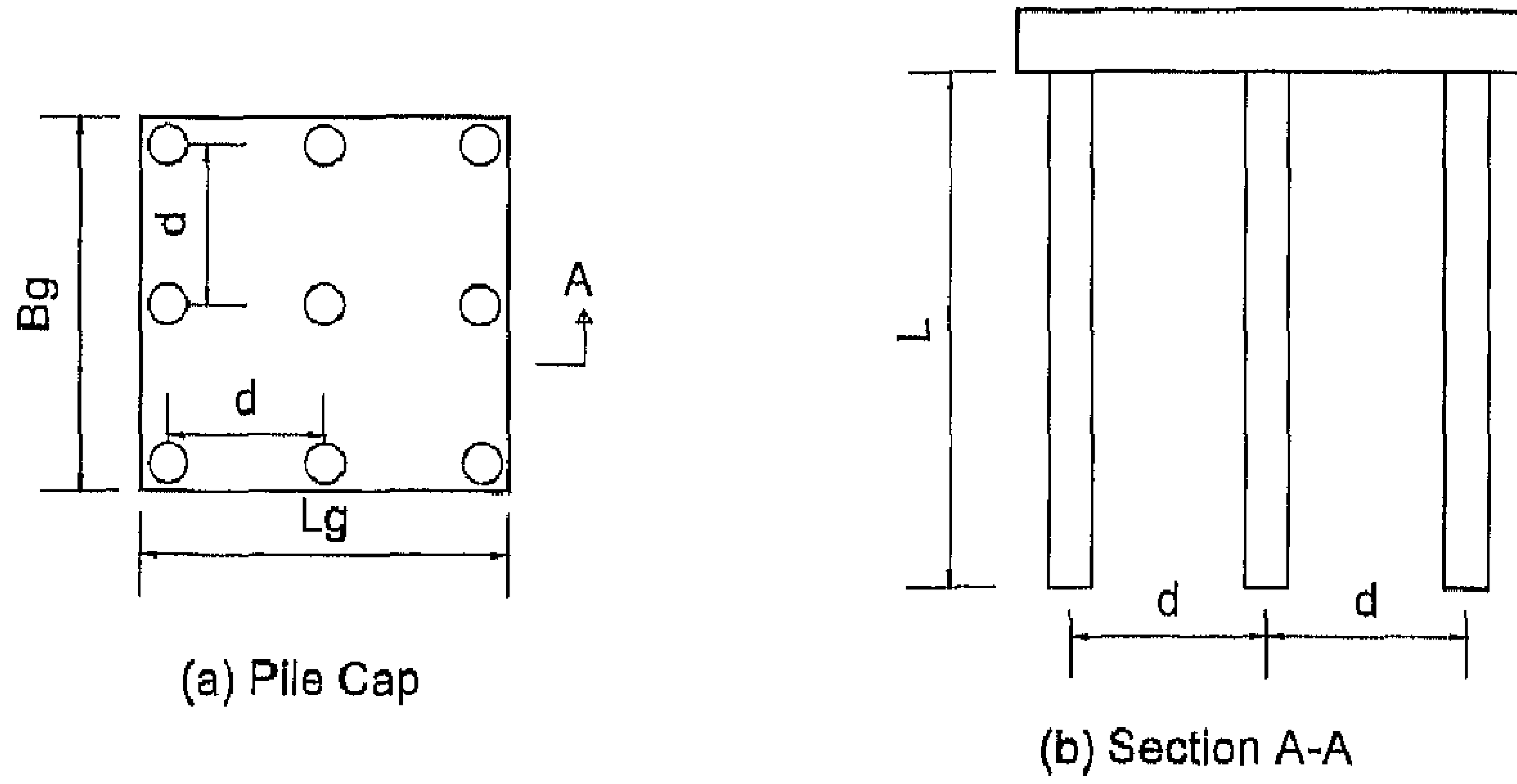
تطبيق: احسب كفاءة مجموعة الأوتاد الموضحة بالشكل رقم (٦,٤) علمًا أن D=0.6m, d= 1.8m

$$\theta = \tan^{-1} 0.6/1.8 = 18.4°$$

$$\eta = 1 - [\frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90 \times 3 \times 3}]18.4 = 0.73$$

(٦,٥) قبعات الأوتاد
Pile Caps

تقـوم قبعـة الأوتـاد بتوزيـع الأحمـال المطبقـة مـن العمـود علـى الأوتـاد ، (انظـر الشكل رقم ٦,٤ a). تكون القبعة عادة من الخرسانة المسلحة مصبوبة على التربـة مـا لم تكن التربة قابلة للانتفاخ حيث ، تتعرض القبعة إلى ردود أفعال من الأوتاد على شـكل حمولات مركـزة، ويجـب اعتبـار حمـولات العمـود مـن الأعلـى (قـوة محوريـة ، عـزم) ووزن تربة الردم فوق القبعة ووزن القبعة.



الشكل رقم (٦,٤). قبعة الوتد: (a) مسقط قبعة أوتاد، (b) المقطع A-A.

(٦,٥,١) الاشتراطات البعدية لقبعات الأوتاد (Bowles, 2003)
Dimension Requirements for Pile Caps

١ – المسافة الدنيا بين الأوتاد: d_{min}>2-2.5 D وتؤخذ عادة d=3-3.5 D

٢– بعد طرف الوتد عن طرف القبعة لا يقل عن 150-250 mm

٣– تعتبر القبعة جاسئة Rigid إذا حققت الشروط التالية :

أ) القبعة على تماس مع التربة.

ب) جميع الأوتاد رأسية.

ج) الحمل مؤثر على مركز مجموعة الأوتاد.

د) القبعة سميكة جدًا، حيث تعتبر كذلك إذا كانت سماكتها 1.8-2 m لقبعة أبعادها 2-3 m ويمكن أن تكون ذات سماكة أكبر، وهذا يعتمد على التباعد بين الأوتاد.

هـ) يمكن التخفيف من شرط السماكة إذا كان عدد الأوتاد أربعة أو أقل.

(٦,٥,٢) طرق تصميم قبعات الأوتاد Methods of Design of Pile Caps

الطريقة الجاسئة (Bowles, 2003)

١- حساب الحمل المؤثر على الوتد ومقارنته بتحمل الوتد المسموح Q_{all}

حالة قوى محورية فقط:

$$Pp = Q/n \qquad (6.9)$$

حالة قوة محورية وعزم (الشكل رقم ٦,٥ a)

$$P_p = \frac{Q}{n} \pm \frac{xMy}{\sum x^2} \pm \frac{yMx}{\sum y^2} \qquad (6.10)$$

حيث إن:

PP حمل الوتد.

Q الحمل الكلي.

n عدد الأوتاد.

Mx, My العزم المطبق من العمود على القبعة حول المحور x والمحور y على الترتيب

x, y إحداثيات مراكز الأوتاد بالنسبة للمحاور y ، x.

٢- يتم اعتبار قبعة الوتد جسما مقررا معرضا إلى حمولات الأعمدة من الأعلى وحمولات رد الفعل المركزة من الأسفل، (انظر الشكل رقم ٦,٥ d).

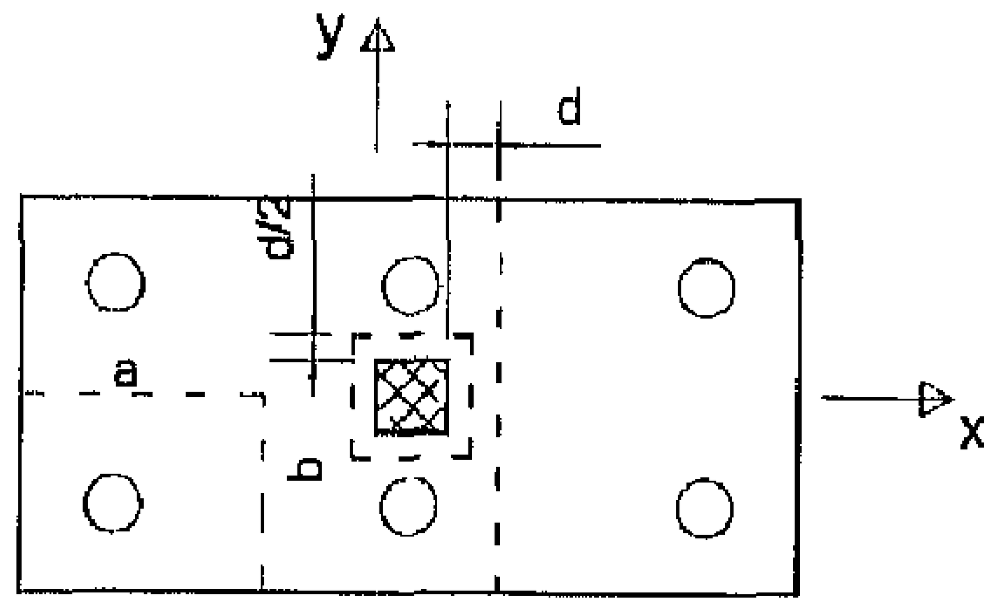
٣- يتم حساب عزم الانحناء على وجه العمود لتصميم تسليح القبعة.

٤- يتم تدقيق القص أحادي الاتجاه (على بعد d من وجه العمود أو الوتد) والقص ثنائي الاتجاه (على بعد d/2 من وجه العمود أو الوتد)، (انظر الشكل رقم a ٦,٥) مع ملاحظة ما يلي:

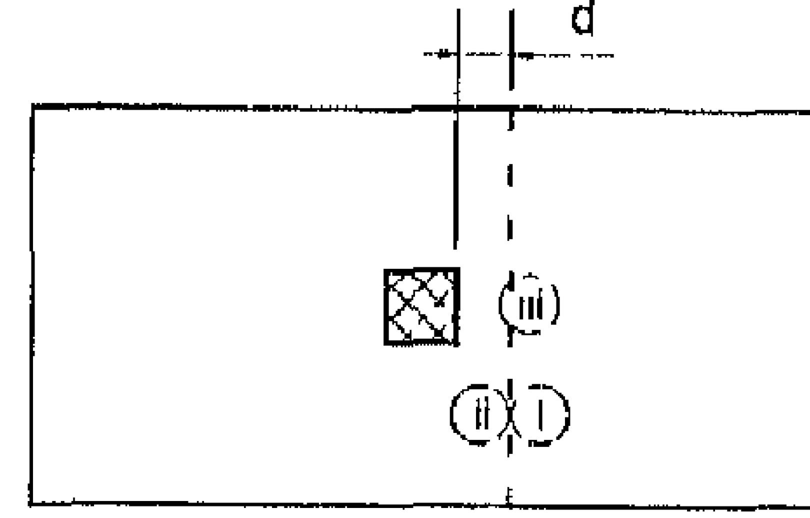
أ) في حالة كون محور الوتد على بعد D/2 أو أكثر خارج القطاع الحرج للقص يجب اعتبار كامل حمل ذلك الوتد في حساب القص، (انظر الشكل رقم b ٦,٥).

ب) في حالة كون محور الوتد على بعد D/2 أو أكثر داخل القطاع الحرج للقص يجب عدم اعتبار حمل ذلك الوتد في حساب القص.

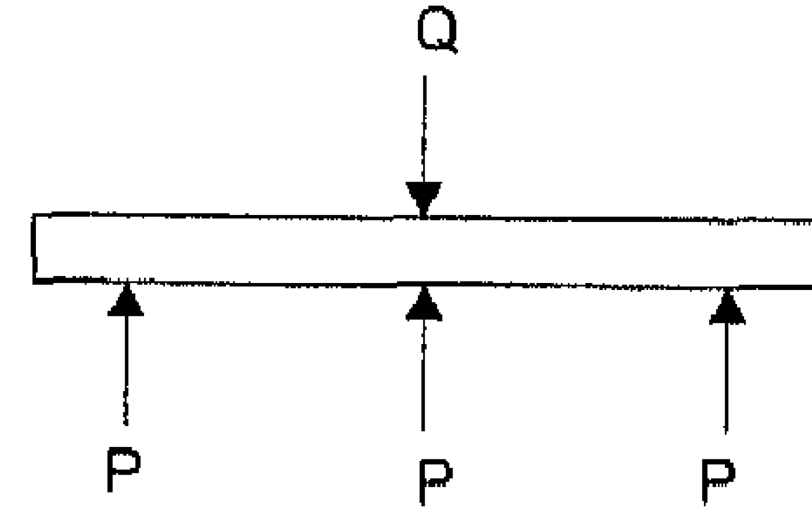
ج) للحالات البينية الأخرى يستخدم التناسب الخطي Linear interpolation باعتبار الحالتين i, ii، (انظر المثال ٦,١).



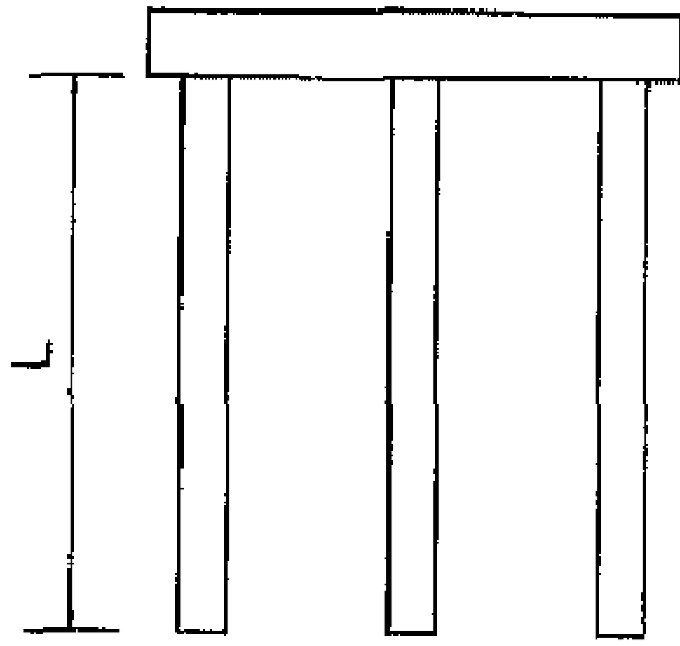
(a) Pile Cap



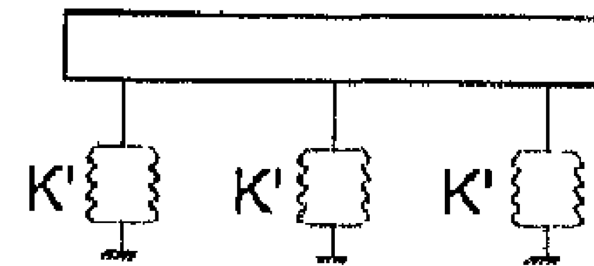
(b) Shear section & pile cases i, ii, iii



(d) Free body diagram



(c) Vertical Section (NTS)



(e) Analytical Model

الشكل رقم (٦,٥). تصميم قبعة الوتد: (a) مسقط قبعة أوتاد، (b) مقطع القص وحالات الأوتاد، (c) المقطع الرأسي، (d) مخطط الجسم الطليق، (e) النموذج التحليلي.

طريقة العناصر المحدودة

يبين الشكل رقم (٦,٥ e) النموذج التحليلي لقبعة، حيث يتم تمثيل القبعة على أنها عنصرًا صفائحيًا Shell element نوع Thick shell ويتم إدخال الحمل المحوري للعمود، وذلك بتعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null. بالنسبة للأوتاد تمثل بنابض صلابته مجموع صلابة الوتد مع التربة المجاورة وفق المعادلة (6.11):

$$K' = K_s ab + \lambda' AE / L \qquad (6.11)$$

حيث إن:

K' صلابة الوتد الكلية (KN/m).

K_s معامل رد فعل التربة (KN/m^3).

a, b أبعاد قطاع التربة المحدد بالوتد Contributory soil area، (انظر الشكل رقم ٦,٥ a) (m).

λ' معامل يحدد حسب نوع الوتد ومقدار احتكاكه مع التربة.

A مساحة مقطع الوتد (m^2).

L طول الوتد (m).

E معامل المرونة (معامل يونغ) لمادة الوتد - الخرسانة المسلحة (KN/m^2).

الحد الأول في العلاقة السابقة يمثل جداء معامل رد فعل التربة بمساحة القطاع المحدد حول العقدة والحد الثاني يمثل الصلابة المحورية للوتد، يمكن إهمال الحد الأول، لكون قيمته مهملة مقارنة بالحد الثاني. يتم السماح لكل عقدة Joint تمثل وتدا بالانتقال بالاتجاه الرأسي z والدوران حول x, y أي درجات الحرية المتاحة هي: u3, r1, r2.

(٦,٦) أمثلة تطبيقية
Application Examples

المثال (٦,١) قاعدة عمود على أربعة أوتاد 4-piles Column Base

يطلب تصميم مجموعة أوتاد مع قبعة لحمل عمود بأبعاد 50×50 cm، (انظر الشكل رقم ٦,٦ a)، مع العلم أن إجمالي الحمل المطبق (حمل تشغيل نوع ميت + حي) Q=3000 KN وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط fc = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa، معامل المرونة للخرسانة $E=2.14\times10^7$ KN/m² نعتبر معامل تصعيد الحمولات f1=1.35. كذلك يستنتج من تقرير التربة المعلومات التالية:

قطر الوتد D=600 mm، تباعد الأوتاد d=3.5 D = 2100 mm، طول الوتد L=14 m

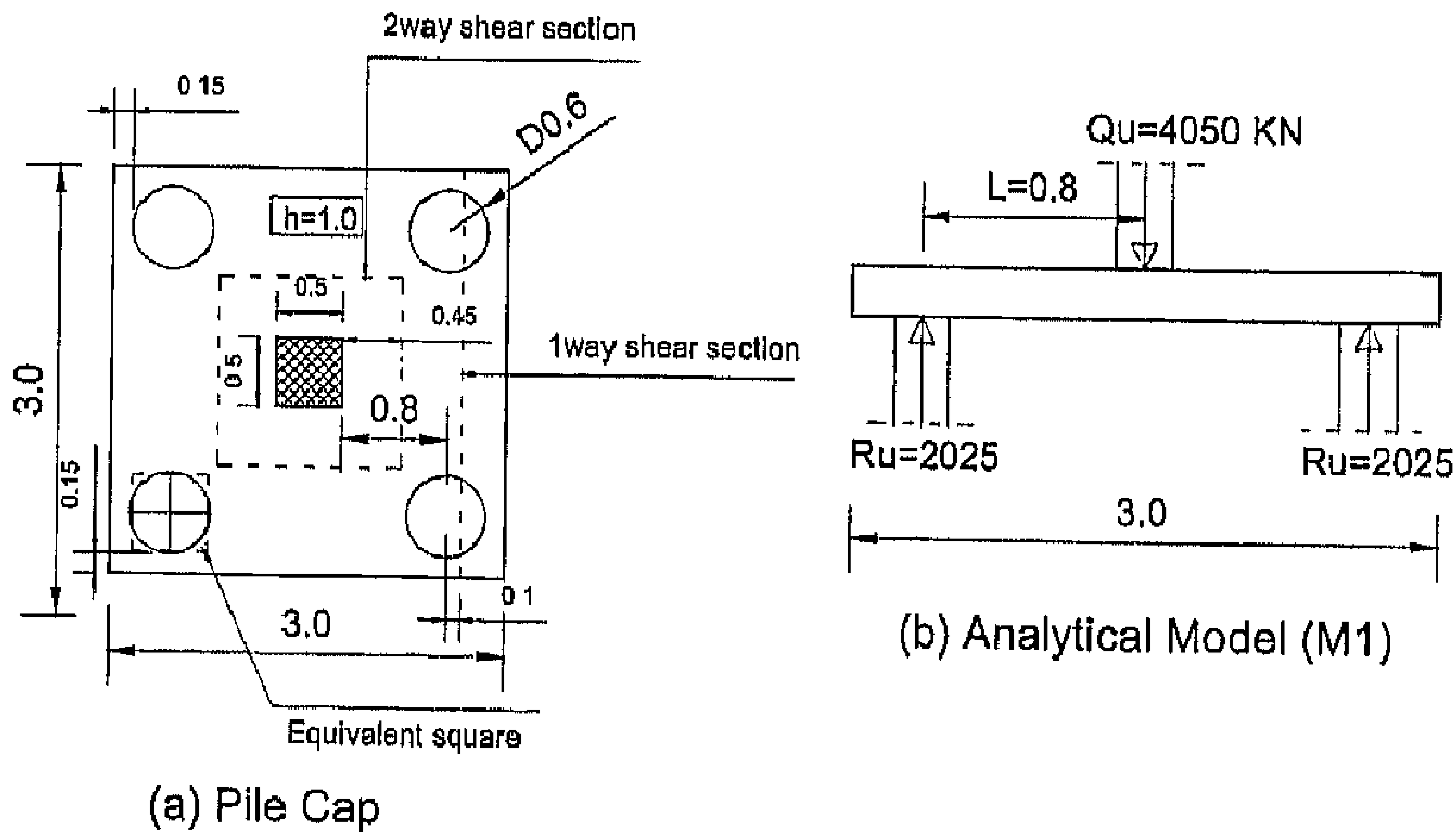
تحمل الوتد المسموح على الضغط Q_{all}=850 KN

الغاية من المثال

تصميم قبعة أوتاد بالطريقة الجاسئة وطريقة العناصر المحدودة، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.



الشكل رقم (٦,٦). قبعة لأربعة أوتاد: (a) مسقط قبعة أوتاد، (b) النموذج التحليلي M1.

الطريقة الجاسئة، النموذج التحليلي MI : (انظر الشكل رقم ٦,٦)

١- تحديد عدد الأوتاد: نفترض عدد ٤ أوتاد (بإهمال وزن القبعة مبدئيا)

$$P_p=Q/4= 3000/4= 750 \text{ KN} < 850 \text{ (Ok.)}$$

٢- تدقيق القص ثنائي الاتجاه

أ) بالنسبة للعمود، نعتبر أن ارتفاع القبعة h=1.0 m وارتفاعها الفعال d=0.9 m

$$V_u=3000\times1.35= 4050 \text{ KN}$$

$$b_0=2(a+d)+2(b+d)$$

$$b_0=2(0.5+0.9)+2(0.5+0.9) = 5.6 \text{ m}$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{3}b_0 d,\ V_c=\frac{\sqrt{30}}{3}(5.6\times0.9)\times1000=9202 \text{ KN}$$

$$V_u=4050<0.75\times9202=6902 \text{ KN (Ok.)}$$

ب) بالنسبة للوتد نعتبر المربع المكافئ للقطاع الدائري للوتد، انظر المعادلة (2.10) حيث يكون طول ضلع المربع المكافئ

$$s=0.9D=0.9\times0.6=0.54 \text{ m}$$

$$b_0=2\times(0.54+0.15+0.9/2)=2.28 \text{ m}$$

$$V_u=750\times1.35= 1012.5 \text{ KN}$$

$$V_c=\frac{\sqrt{30}}{3}(2.28\times0.9)\times1000=3746^{KN}$$

V_u=1012.5<0.75×3746=2810 KN (Ok.)

٣- تدقيق القص أحادي الاتجاه: حسب الفقرة (٦,٥,٢) وعلى اعتبار أن الوتدين إلى اليمين في الشكل رقم (٦,٦ a) داخل قطاع القص الحرج بشكل جزئي (الحالة III)

$$V_u=\frac{(0.3-0.1)}{0.6}(2\times1.35\times750)=675\ KN$$

$$V_c=\frac{\sqrt{f'c}}{6}Bd\ ,\ V_c=\frac{\sqrt{30}}{6}(3\times0.9)\times1000=2465\ KN$$

V_u=675<0.75×2460=1849 KN (Ok.)

٤- التأكد من عدم تجاوز تحمل الوتد المسموح

وزن قبعة الأوتاد

W=3×3×1×25=225 KN

P_p=(Q+W)/4= (3000+225)/4= 806 < 850 KN (Ok.)

٥- حساب عزم الانحناء الأعظمي عند وجه العمود

يتم رسم النموذج التحليلي للقبعة مع رد فعل الأوتاد، (انظر الشكل رقم ٦,٦ b)

Q_u=f1×P=1.35×3000=4050 KN

$$R_u=Q_u/2=4050/2=2025 \text{ KN}$$

$$M_u=R_u \times L=2025 \times 0.8=1620 \text{ KN.m}$$

$$M_u=1620/3 = 540 \text{ KN.m/m}$$

طريقة العناصر المحدودة، النموذج التحليلي (M2)

١- إعداد النموذج التحليلي (انظر الشكل رقم ٦,٧)

أ) يتم تمثيل القبعة باستخدام عناصر Slab element نوع Thick plate وبسماكة 1m ورسمها بأبعاد 3×3m والعمود نوع Column وبأبعاده المعطاة.

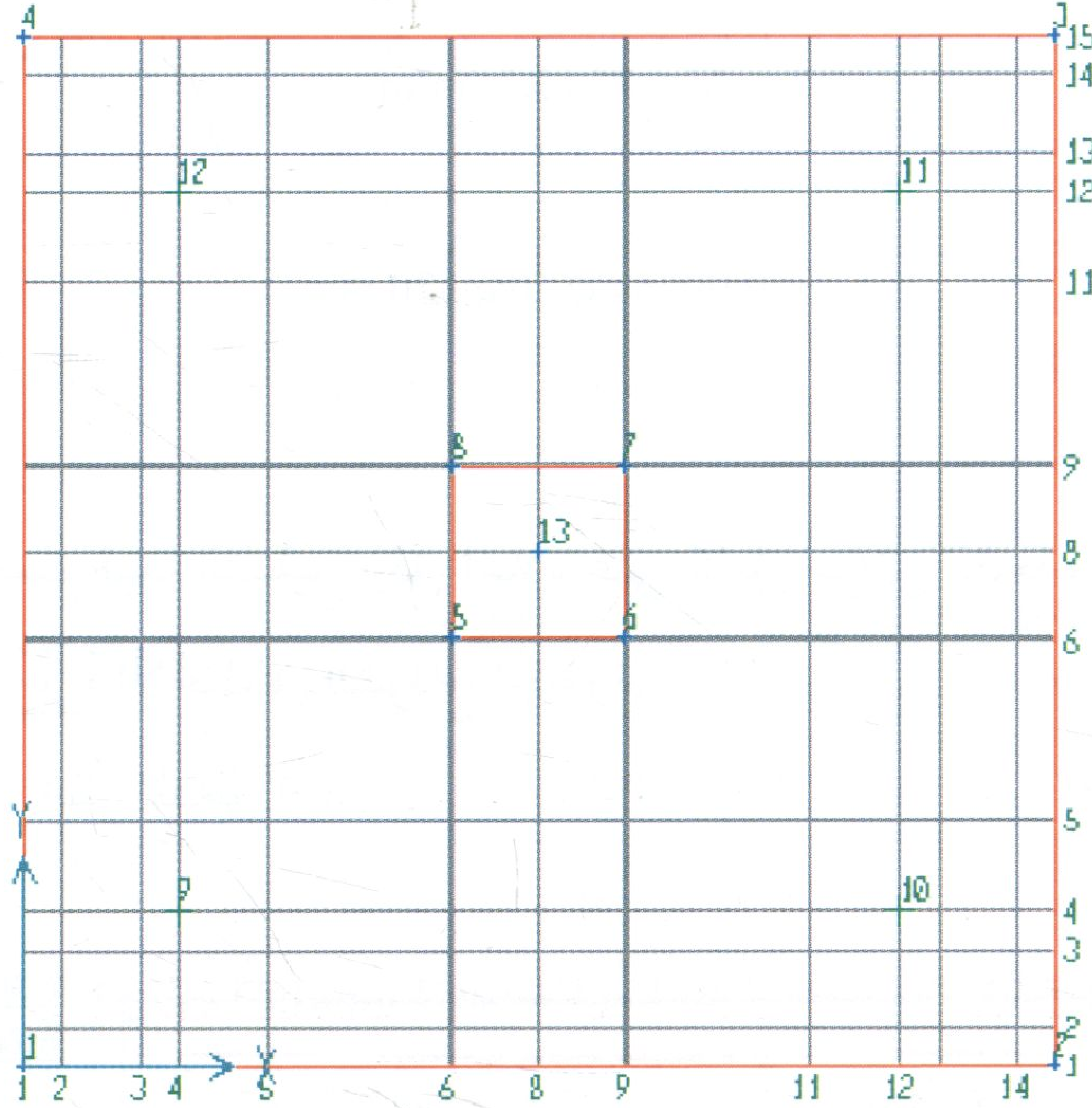
ب) يتم تعريف عنصر Slab element لتمثيل العمود ورسمه بأبعاد 0.5×0.5m.

ج) يتم إدخال الحمل المحوري للعمود بتعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null.

د) بالنسبة للأوتاد تمثل بنابض صلابته K' حيث يتم تعريف مسند عمود Column support من خلال إدخال قيمة صلابة النابض السابقة، ومن ثم تخصيص هذه الخاصية لأربع نقاط Points تمثل أماكن الأوتاد، كذلك يمكن تعريف صلابة النابض بإدخال (قطر، طول، معامل مرونة المادة) للوتد حيث تحسب الصلابة عندئذ بشكل آلي.

$$K' = AE/L$$

$$K'=(\pi \times 0.6^2/4)\times 2.14\times 10^7/14=4.3\times 10^5 \text{ KN/m}$$



الشكل رقم (٦,٧). النموذج التحليلي M2.

٢- النتائج

يتم استنتاج القيم التالية من التحليل الإنشائي

أ) رد الفعل عند المساند (الأوتاد) Reaction forces (الحمل على الوتد) P_P=807 KN.

ب) قيمة عزم الانحناء الحدي بالاتجاه x – الشريحة الوسطية CSX3 ، عند وجه العمود: M_u=758 KN.m/m ، (انظر الشكل رقم ٦,٨).

ج) عزم الانحناء الحدي بالاتجاه y: قيمة مماثلة.

٣- التحقيق على القص بالثقب ثنائي الاتجاه: نفس ما ورد في الطريقة الجاسئة سابقاً.

٤- حساب التسليح لمقاومة عزم الانحناء.

التسليح الرئيس السفلي (باعتبار النموذج M2)

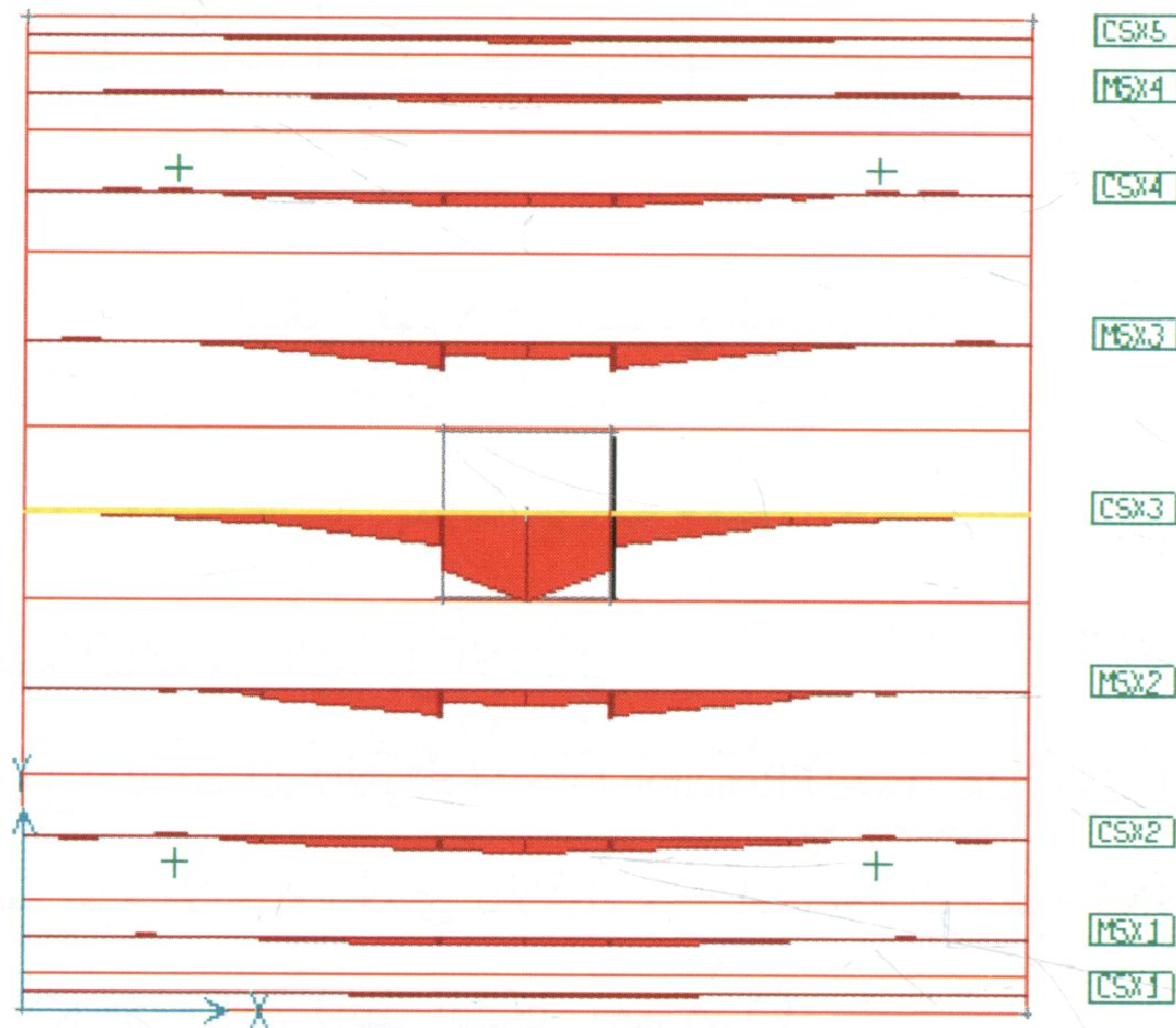
M_u=758 KN.m/m

ρ=0.0026 (ϕ20@120 mm)

ملاحظة

يمكن تعميم قيمة التسليح وفق أعلاه على كامل عرض القبعة ، أو تخفيف قيمة التسليح حسب عزم الانحناء في الشرائح المجاورة.

مخطط التسليح : انظر الملحق C9.



الشكل رقم (٦,٨). مخطط عزم الانحناء الحدي.

مقارنة النتائج

يبين الجدول رقم (٦,١) مقارنة بين نتائج التحليل الإنشائي للنموذجين M1, M2 باعتبار حمل الوتد P_P وعزم الانعطاف الحدي M_u ويلاحظ أن حمل الوتد نفسه في النموذجين، بينما تزداد قيمة عزم الانحناء في النموذج M2 وذلك في الشريحة الحرجة (الوسطى).

الجدول رقم (٦,١). مقارنة نتائج M1, M2.

رقم النموذج التحليلي	حمل الوتد P_P (KN)	عزم الانحناء الحدي الأعظمي M_u (KN.m/m)
M1	806	540
M2	807	758

المثال (٦,٢): قاعدة عمود على ثمانية أوتاد 8-piles Column Base

يطلب تصميم مجموعة أوتاد مع قبعة لحمل عمود بأبعاد 80×80 cm، (انظر الشكل رقم ٦,٩)، الحمولات المطبقة مبينة في الجدول رقم (٦,٢)، علما أن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 30 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 414 MPa، معامل المرونة للخرسانة $E=2.14\times10^7$ KN/m². كذلك يستنتج من تقرير التربة المعلومات التالية:

قطر الوتد D=600 mm، تباعد الأوتاد d=3D = 1800 mm، طول الوتد L=15 m

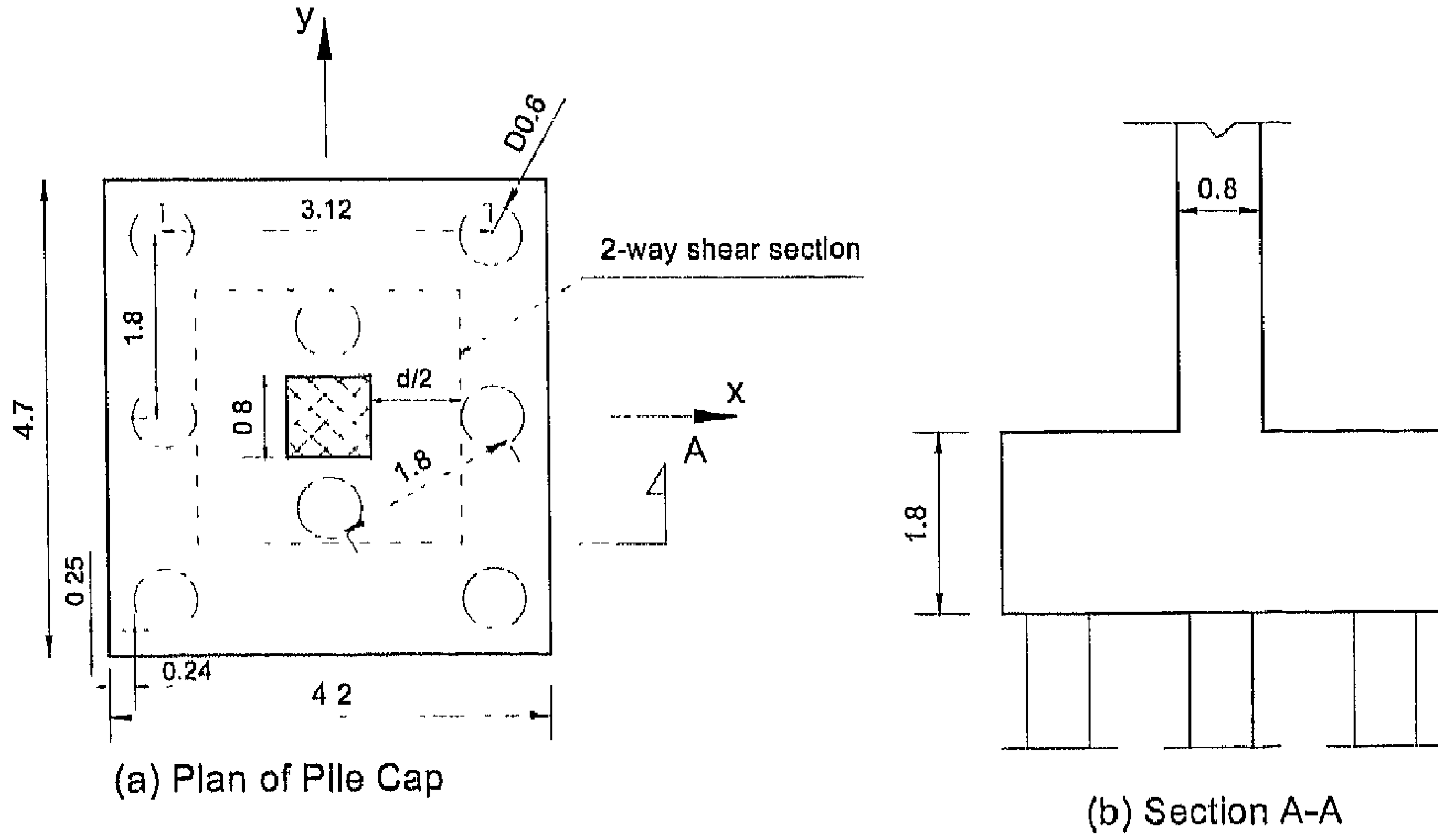
تحمل الوتد المسموح على الضغط Q_{all}=1000 KN وعلى الشد T_{all}=300 KN

الغاية من المثال

تصميم قبعة أوتاد ذات حمولات محورية مع عزم بطريقة العناصر المحدودة.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، خطوات النمذجة التفصيلية، موضحة في الملحق B5، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.



(a) Plan of Pile Cap

(b) Section A-A

الشكل رقم (٦,٩). قبعة لثمانية أوتاد: (a) مسقط قبعة أوتاد، (b) المقطع A-A.

الجدول رقم (٦,٢). حمولات العمود.

حالة التحميل Load Case	الحمل المحوري P (KN)	العزم حول x Mx (KN.m)	العزم حول y My (KN.m)
ميتة D	3640	20	-11
حية L	1960	5	-2
زلازل بالاتجاه y Ey	400	475	0

النموذج التحليلي M1 (انظر الشكل رقم ٦,١٠)

١- يتم تمثيل القبعة باستخدام عناصر Slab element نوع Thick plate وبسماكة 1.8m ورسمها بأبعاد 4.7m× 4.2.

٢- يتم تعريف عنصر Slab element لتمثيل العمود ورسمه بأبعاد 0.8×0.8m.

٣- يتم تعريف ثلاث حالات تحميل D, L, E.

٤- يتم تشكيل ثلاثة تراكيب للحمولات وفق ما يلي

Comb1: 1.0 D + 1.0 L

Comb2: 1.0 D + 1.0 L + 1.0 Ey

Comb3: 1.2 D + 1.6 L

Comb4: 1.2 D + 1.0 L + 1.0 Ey

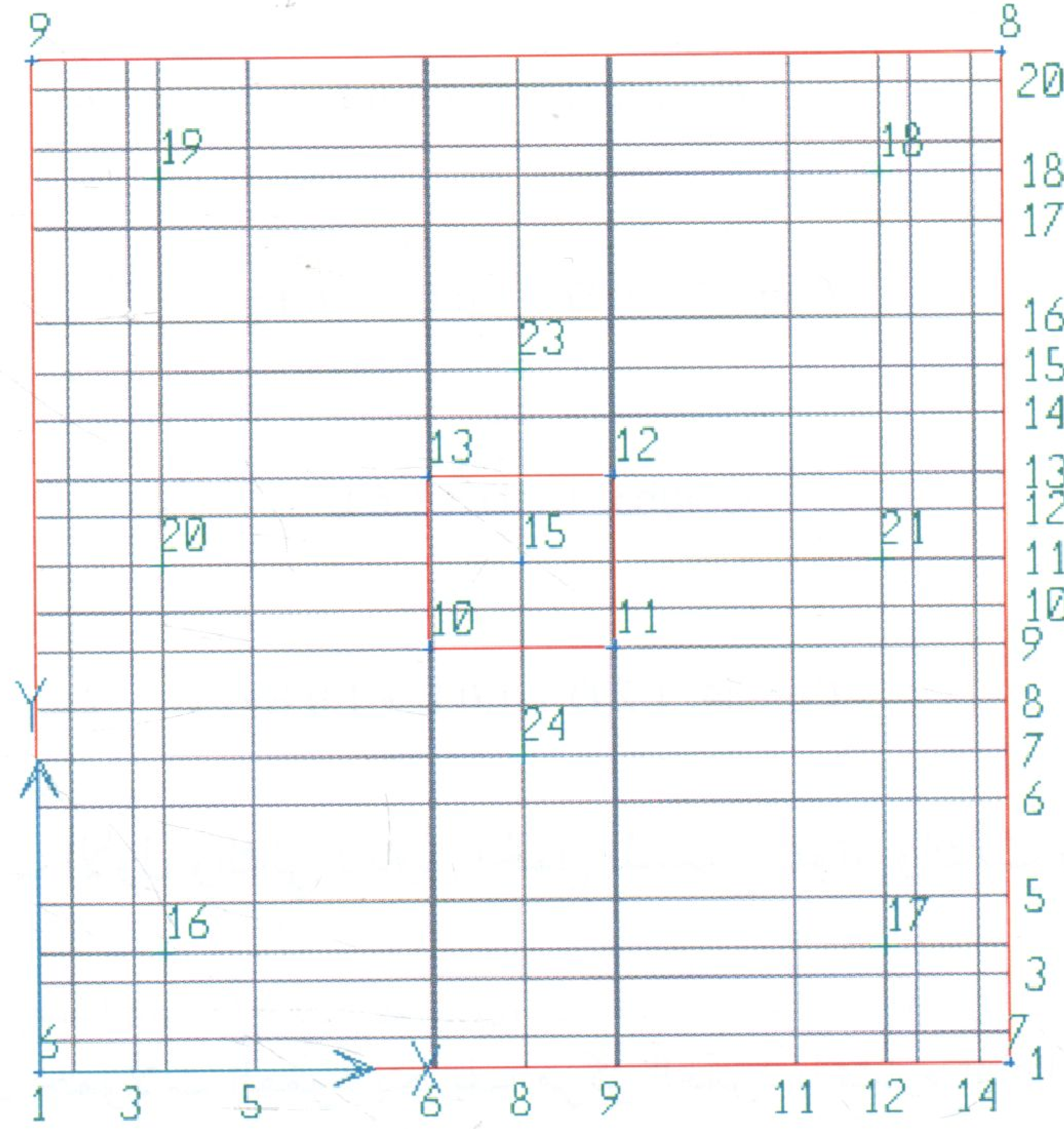
علمًا أن التركيب الأول والثاني لتدقيق الحمل المسموح للوتد والثالث والرابع لتصميم القبعة.

٥- يتم إدخال حمولات العمود بتعريف مركز العمود باعتباره Point نوع Null ويتم إدخال قيم الحمولات وفق الحالات الثلاث السابقة.

٦- بالنسبة للأوتاد تمثل بنابض صلابته 'K حيث يتم تعريف مسند عمود Column support من خلال إدخال قيمة صلابة النابض السابقة، ومن ثم تخصيص هذه الخاصية لثمان نقاط Points تمثل أماكن الأوتاد، كذلك يمكن تعريف صلابة النابض بإدخال (قطر، طول، معامل مرونة المادة) للوتد حيث تحسب الصلابة عندئذ بشكل آلي.

$$K' = AE / L$$

$$K'=(\pi\times0.6^2/4)\times2.14\times10^7/15=4.0\times10^5 \text{ KN/m}$$



الشكل رقم (٦,١٠). النموذج التحليلي M1.

النتائج

بعد إجراء التحليل الإنشائي يتم استخراج النتائج التالية المتعلقة بحمل الأوتاد باعتبار الحالة Comb2 ، (انظر الشكل رقم ٦,١١) الذي يبين مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه x :

رد فعل الوتد الأعظمي ، الوتد رقم ٢٤

$$P_p = 921.6 < Q_{all} = 1000 \text{ KN (Ok.)}$$

رد فعل الوتد الأصغري، الوتد ١٨

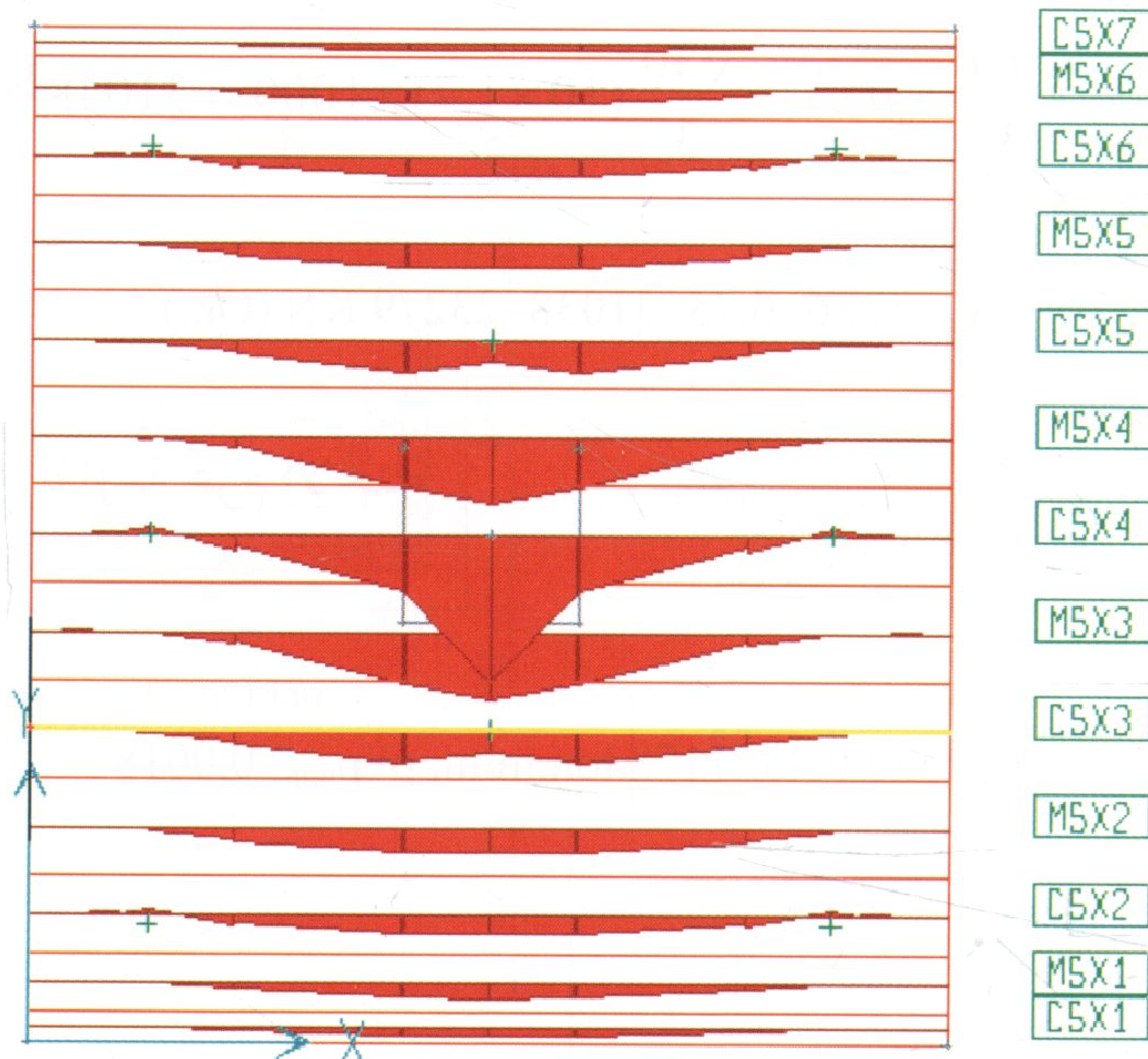
$P_P = 779.3 > 0$ (Ok.)

عزم الانحناء بالاتجاه x – الشريحة الوسطية (Comb3)

M_u=530 KN.m, Strip width= 0.45 m

عزم الانحناء بالاتجاه Y – الشريحة الوسطية (Comb3)

M_u=1151 KN.m, Strip width= 0.78 m



الشكل رقم (٦,١١). مخطط العزم للشرائح بالاتجاه x (الحالة Comb3).

التحقيق على القص ثنائي الاتجاه

يكتفى بتدقيق القص ثنائي الاتجاه بجوار العمود، لأنه هو المهيمن، (انظر الشكل رقم ٦,٩ a) مع ملاحظة طرح حملي الوتدين المجاورين للعمود (رقم ٢٣ و٢٤) من حمل العمود من أجل حساب القص وباعتبار الحالة Comb3 :

$$V_u=[3640\times1.2+1960\times1.6-(1107+1111)] = 5286 \text{ KN}$$

$$b_0=2(a+d)+2(b+d)$$

$$b_0=2(0.8+1.7)+2(0.8+1.7) = 10 \text{ m}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_0 d \text{, } V_c=\frac{\sqrt{30}}{3}(10\times1.7)\times1000 = 31038 \text{ KN}$$

$$V_u=5286<0.75\times31038=23279 \text{ KN (Ok.)}$$

حساب التسليح لمقاومة عزم الانحناء

أ) الاتجاه x

$$M_u=530/0.45=1178 \text{ ton.m/m, } \rho=\rho_{min}=0.0018$$

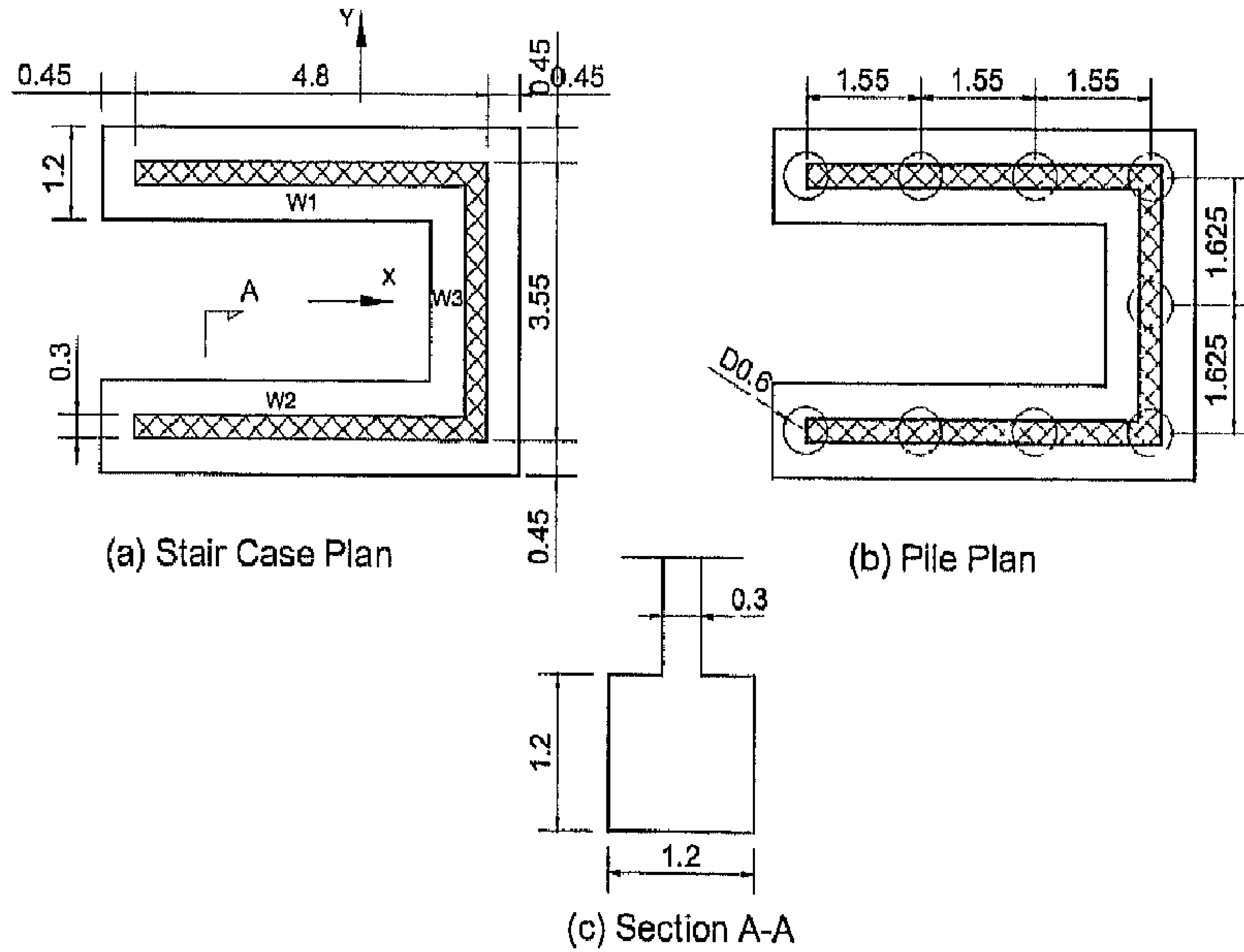
ب) الاتجاه y

$$M_u=1151/0.78=1476 \text{ ton.m/m, } \rho=\rho_{min}=0.0018$$

المثال (٦,٣): أساس حوائط بيت درج على صف وحيد للأوتاد

Stair Case Wall Foundation - One Row of Piles

يطلب التحقق من عدم تجاوز حمل الوتد المسموح وتصميم قبعة لمجموعة أوتاد تحمل بيت الدرج، (انظر الشكل رقم ٦,١٢)، مع العلم أن الأحمال المطبقة موضحة في الجدول رقم (٦,٣) لتراكيب الأحمال المصعدة (ميتة، حية، زلازل بالاتجاه x، زلازل بالاتجاه y) وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c = 20 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y = 400 MPa، معامل المرونة للخرسانة $E=2.14\times10^7$ KN/m². كذلك يستنتج من تقرير التربة المعلومات التالية: قطر الوتد D=600 mm، تباعد الأوتاد الأدنى d = 1500 mm، طول الوتد L=15 m، حمل الوتد المسموح على الضغط Q_{all}=800 KN مع العلم أنه يمكن استخدام المعاملات f1=1.35, f2=1.1, f3=1.33، (انظر الملحق B2).



الشكل رقم (٦,١٢). أساس حائط بيت الدرج على أوتاد: (a) مسقط قبعة أوتاد، (b) النموذج التحليلي M1.

الجدول رقم (٦,٣). حمولات الجدران القصوى.

Wall No	Comb1 1.2D + 1.6 L			Comb2 1.2D + 1.0L + 1.0 Ex			Comb3 1.2D + 1.0L + 1.0 Ey		
	P (KN/m)	Mx	My	P (KN/m)	Mx	My (KN.m)	P (KN/m)	Mx (KN.m)	My
W1	542.5			450		3000	450		
W2	387.5			250			200	-2000	
W3	542.5			450		3000	450		

الغاية من المثال

تصميم مجموعة أوتاد مع القبعة لبيت درج بطريقة العناصر المحدودة.

البرنامج المفضل استخدامه

SAFE، رقم ملف النموذج التحليلي متضمن في الملحق D1.

النموذج التحليلي M1 : (انظر الشكل رقم ٦,١٣)

١- يتم تمثيل القبعة باستخدام عناصر Slab element نوع Footing (Thick Plate) وبسماكة 1.2m.

٢- يتم تعريف عنصر Beam element لتمثيل الجدار.

٣- يتم إدخال الأحمال المحورية باعتبارها موزعة بانتظام على طول الجدار والعزوم على أنها مركزة في مركز كل جدار، وذلك بتعريف نقطة Point ذات خاصية Property نوع Null.

٤- بالنسبة للأوتاد تمثل بنابض صلابته

$$K' = AE / L$$

$$K'=(\pi\times0.6^2/4)\times2.14\times10^7/15=4.0\times10^7 \text{ KN/m}$$

رد الفعل عند المساند (الأوتاد)

التركيب Comb1 : أكبر رد فعل في الوتدين الواقع في النقطتين 14, 16 ، (انظر الشكل رقم ٦,١٣)

$$P_u = 928.5 \text{ KN}$$

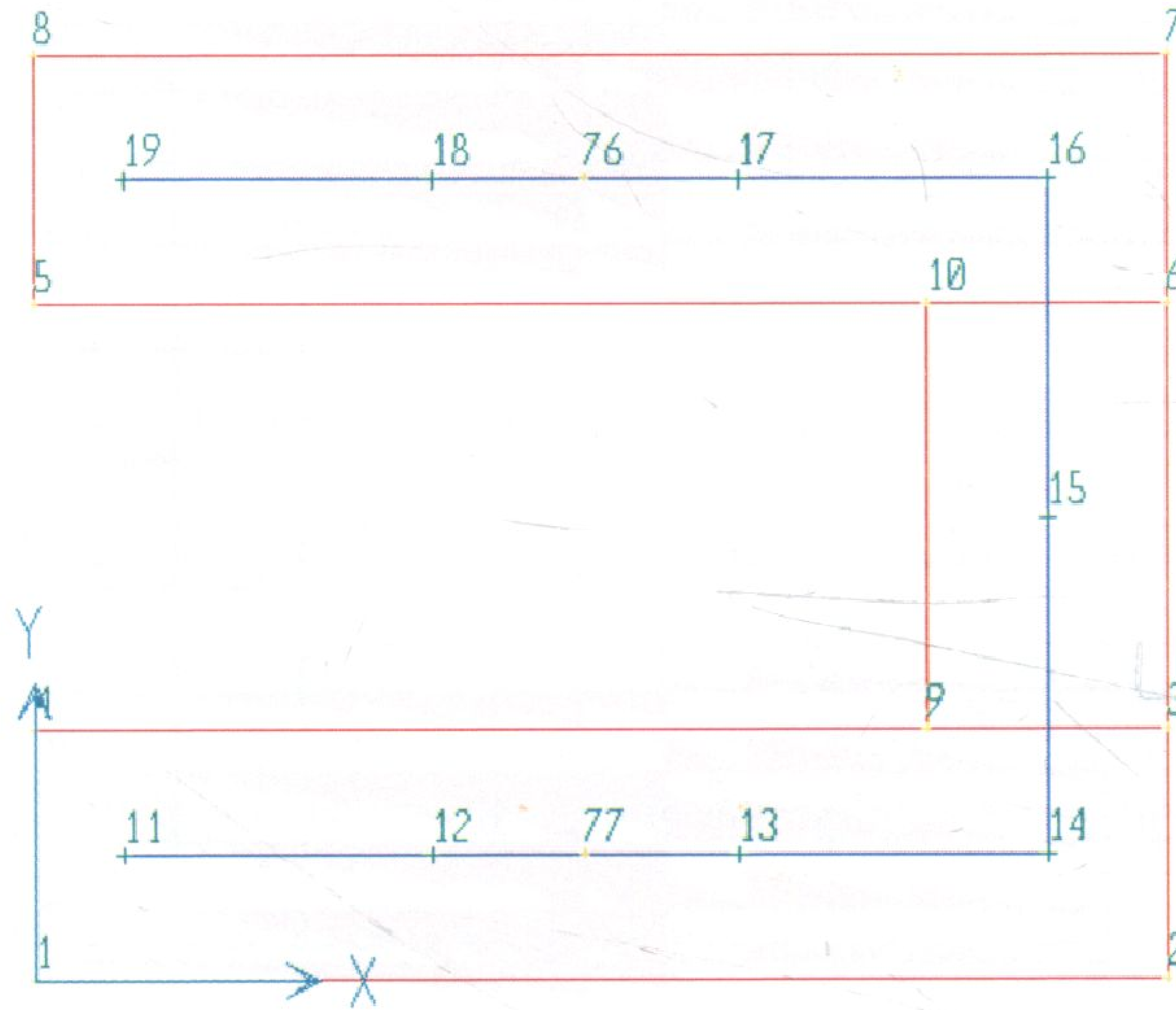
$$P_P=928.5/1.35 = 688 < 800 \text{ KN (Ok.)}$$

التركيب Comb2 : أكبر رد فعل في الوتدين الواقع في النقطتين 14, 16

$$P_u = 1102 < 800\times1.1\times1.33=1170 \text{ KN (Ok.)}$$

التركيب Comb3 : أكبر رد فعل في الوتدين الواقع في النقطتين 14

$$P_u = 930 < 800\times1.1\times1.33=1170 \text{ KN (Ok.)}$$



الشكل رقم (٦,١٣). النموذج التحليلي M2.

تحقيق القص غير المباشر أحادي الاتجاه

لا داعي لتحقيق القص أحادي الاتجاه في المقطع الواقع على بعد d=1.1 m من وجه الجدار؛ لأن مقطع القص خارج حدود الأساس، ولأن سماكة القبعة كبيرة وكافية لمقاومة القص.

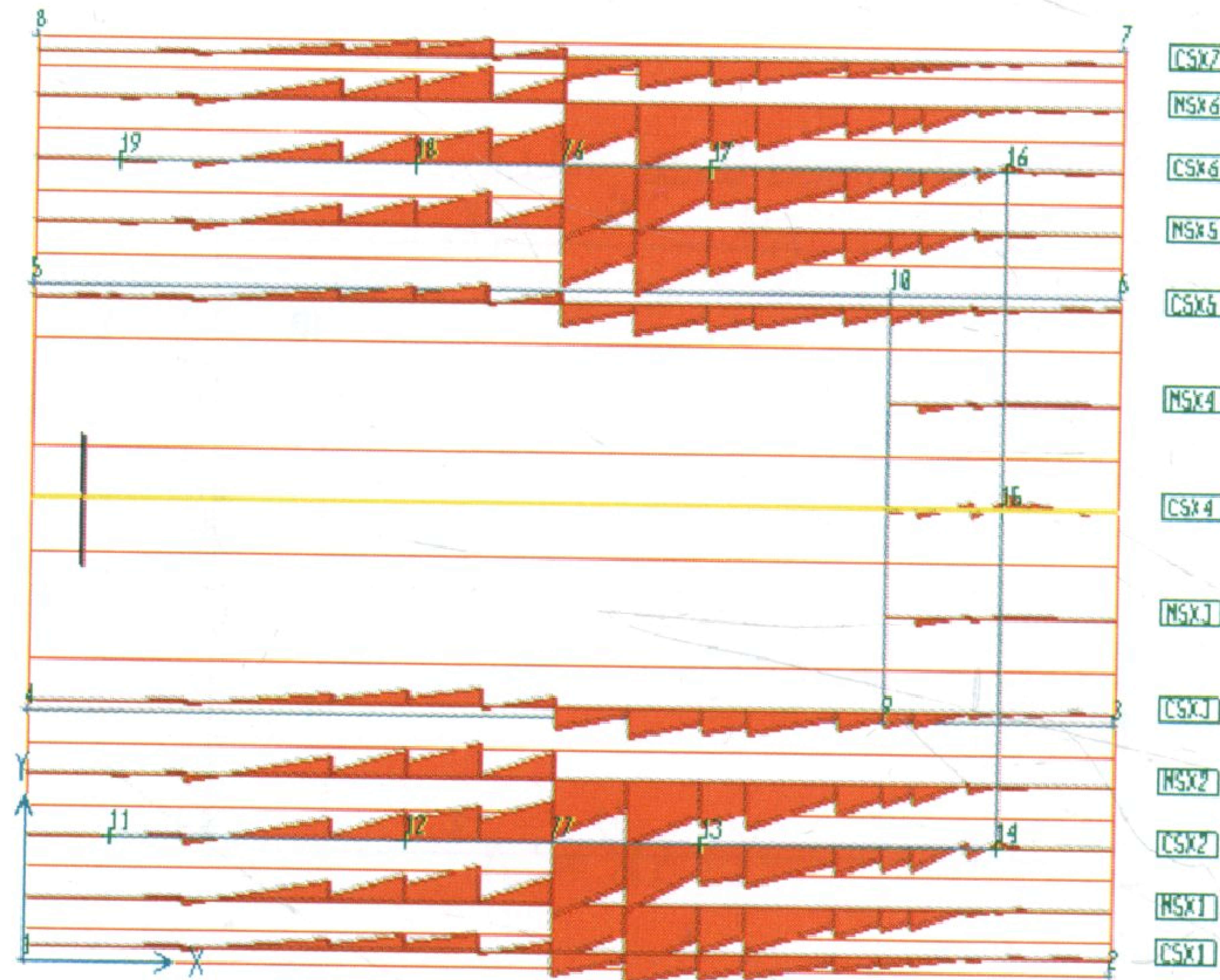
حساب التسليح لمقاومة عزم الانحناء

يظهر الشكل رقم (٦,١٤) مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه x باعتبار التركيب Comb2

الاتجاه x M_u=119.7/0.3=400 KN.m/m, $\rho=\rho_{min}$=0.0018

الاتجاه y Mu=-76/0.3=-253 KN.m/m, $\rho=\rho_{min}$=0.0018

يستخدم تسليح سفلي وعلوي أصغري بالاتجاهين x, y.



الشكل رقم (٦,١٤). النموذج التحليلي M2.

الفصل السابع

الحوائط الساندة
RETAINING WALLS

(٧,١) مقدمة وتعريف
Introduction & Definition

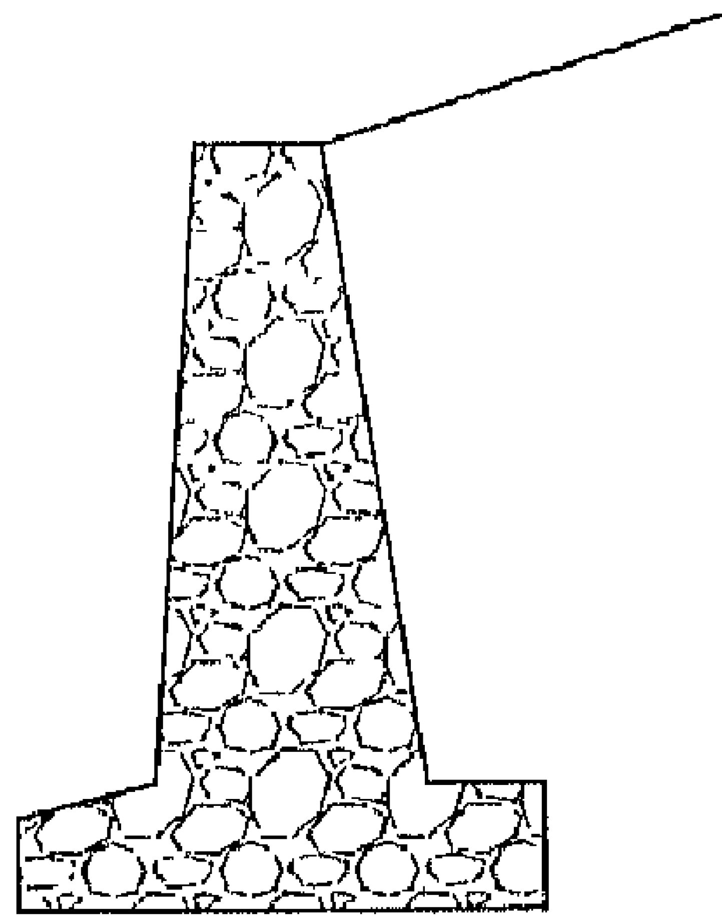
الحوائط الساندة هي منشآت تستخدم لحجز التربة أو جزء منها، وذلك عندما يكون ميل التربة رأسيًا أو شبه رأسي، ولا تسمح الظروف بأن تأخذ التربة ميلها الطبيعي، وتشكل الحوائط الساندة عناصر إنشائية حاملة تنقل الأحمال المؤثرة إلى التربة. ومن الأمثلة على الحوائط الساندة الركائز الجانبية للجسور، وجدران الأقبية، وجدران حجز التربة على جوانب الطرق. تنقسم الحوائط الساندة حسب طريقة تأمين استقرارها إلى عدة أنواع منها:

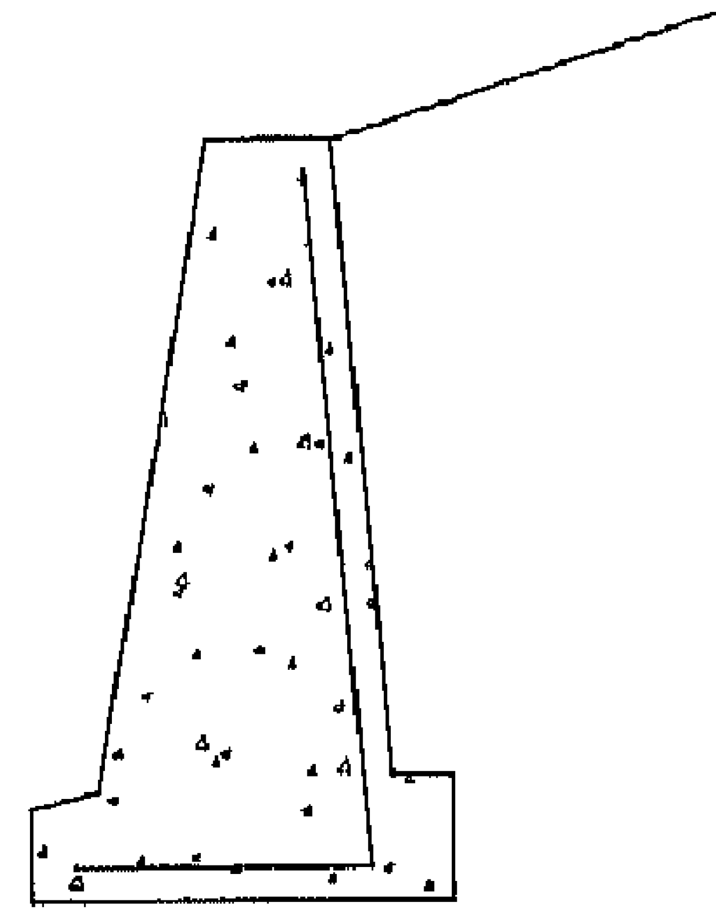
١- الحوائط الساندة الكتلية Gravity retaining walls: يتم إنشاؤها من الحجارة أو الخرسانة العادية أو المغموسة وتعتمد في توازنها على وزنها الذاتي ووزن التربة المستندة على جزئها السفلي، (انظر الشكل رقم ٧,١ a).

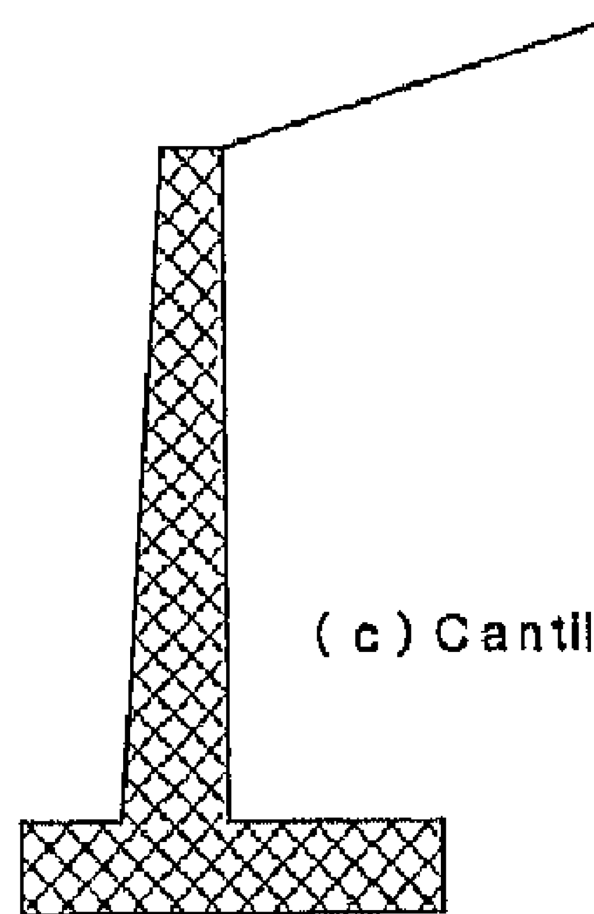
٢- الحوائط الساندة الكابولية Cantilever retaining walls: يتم إنشاؤها من الخرسانة المسلحة، وتتألف من جذع نحيف وقاعدة على شكل بلاطة، وتكون اقتصادية لارتفاع يصل إلى 8m، وتعتمد على مقاومة الإجهادات الناتجة عن حجز التربة باعتبار الجزء الكابولي لجسمها، (انظر الشكل رقم ٧,١ c).

٣- الحوائط الساندة نصف الكتلية Semi-gravity retaining walls: وهي حالة متوسطة بين الجدار الكتلي والجدار الكابولي، حيث تكون سماكتها كبيرة مقارنة مع الجدار الكابولي وقليلة نسبيًا إذا ما قورنت بالجدار الكتلي ويتم تدعيمها بحديد التسليح من الطرف المواجه للتربة، (انظر الشكل رقم ١, ٧ b).

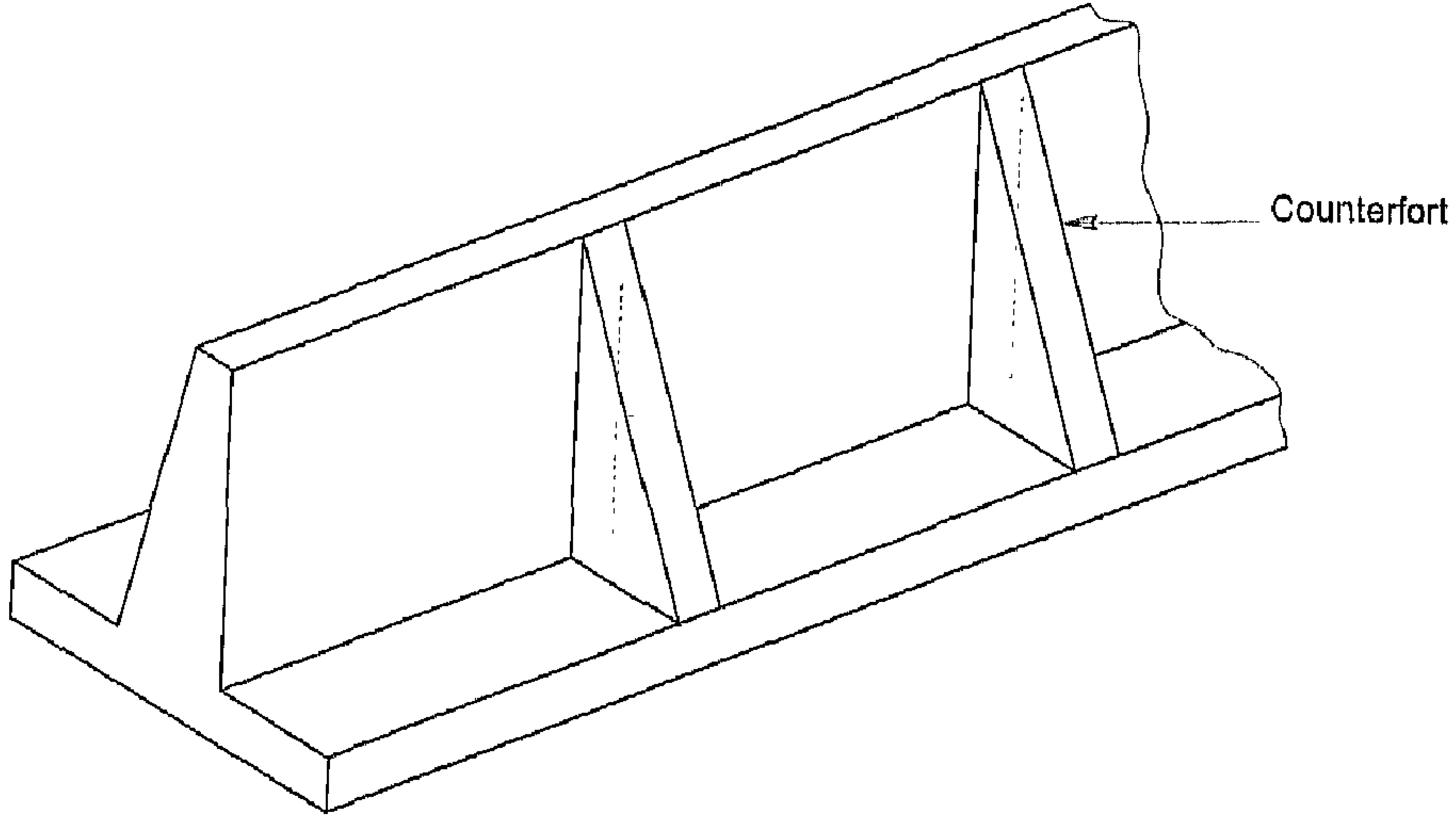
٤- الحوائط الساندة ذات الدعامات Counter-fort retaining walls: تشبه الجدران الكابولية ولكنها تدعم ببلاطات معامدة لطول الجدار، وظيفتها ربط الجذع ببلاطة الأساس وتقليل عزم الانحناء وقوى القص، (انظر الشكل رقم ٧,٢).







الشكل رقم (٧,١). أنواع الحوائط الساندة: (a) حائط ساند كتلي، (b) حائط ساند نصف كتلي، (c) حائط ساند كابولي.



الشكل رقم (٧,٢). حائط ساند ذو دعامات Counter-forts.

نظريات حساب ضغط التربة على حائط ساند

١ – ضغط التربة الجانبي أثناء الراحة Lateral earth pressure at rest : يفترض في هذه الطريقة أن الجدار لا يتحرك باتجاه التربة، وأن التربة لا تتحرك باتجاه الجدار، أي أن التربة بحالة استقرار وتناسب هذه الحالة جدران الأقبية، (انظر الفقرة ٧,٤).

٢– ضغط التربة المباشر باستخدام طريقة رانكن Rankine active earth pressure : تصلح للجدران الساندة (الكتلية والكابولية) حيث يمكن أن يتحرك الجدار بشكل محدود تحت ضغط التربة، وتعتبر هذه الطريقة أن الجدار غير قابل للاحتكاك Frictionless.

٣– ضغط التربة المباشر باستخدام طريقة كولومبس Coulomn's active earth pressure : تصلح كذلك للجدران الساندة حيث يمكن أن يتحرك الجدار بشكل محدود تحت ضغط التربة وتأخذ بالاعتبار احتكاك الجدار مع التربة، ويمكن استخدامها للجدران الكتلية.

(٧,٢) ضغط التربة الجانبي أثناء الراحة

Lateral Earth Pressure at Rest

يبين الشكل رقم (a ٧,٣) جدارًا رأسيًا بارتفاع H يحجز خلفه تربة/ وباعتبار وجود حمل q يضغَط على السطح العلوي للتربة/ ناتجة عن تحميل للتربة، مثل وجود رصيف وشارع إلى جوار حائط قبو لمبنى مواجهها لشارع فيحسب الإجهاد الرأسي والأفقي على عمق z من أعلى الجدار طبقا للعلاقتين (7.1, 7.2) على التوالي، وذلك على اعتبار أن الجدار لا يمكن أن يتحرك أفقيا وبالتالي تنطبق شروط طريقة ضغط التربة أثناء الراحة على هذه الحالة.

$$\sigma_v = q+\gamma z \tag{7.1}$$

$$\sigma_h = K_o(q+\gamma z) \tag{7.2}$$

$$Ko = 1-\sin(\phi) \tag{7.3}$$

حيث إن:

σ_v الإجهاد الرأسي على عمق z.

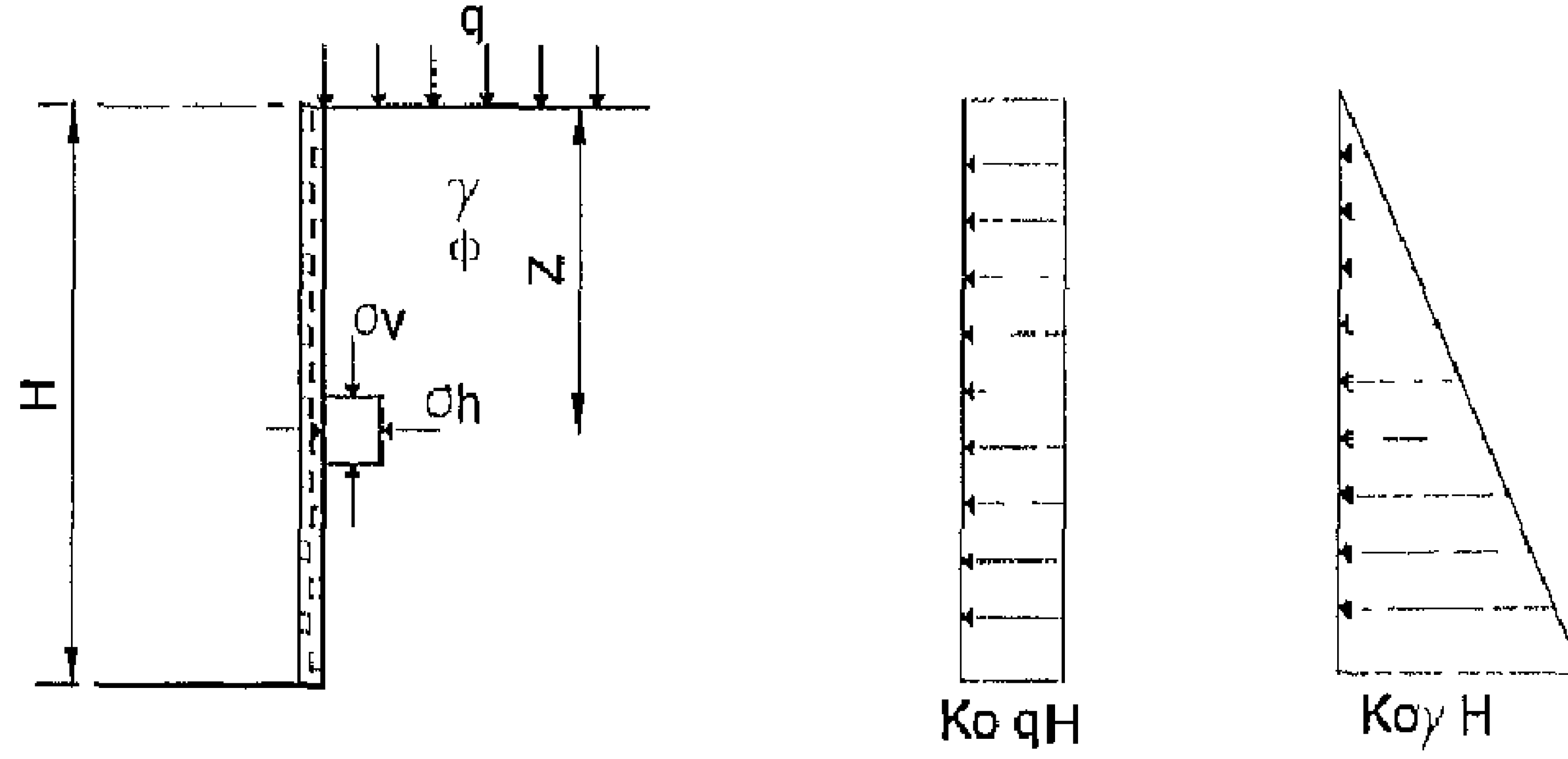
σ_h الإجهاد الأفقي على عمق z.

q حمل ضغط على سطح التربة (قوة على المتر المربع).

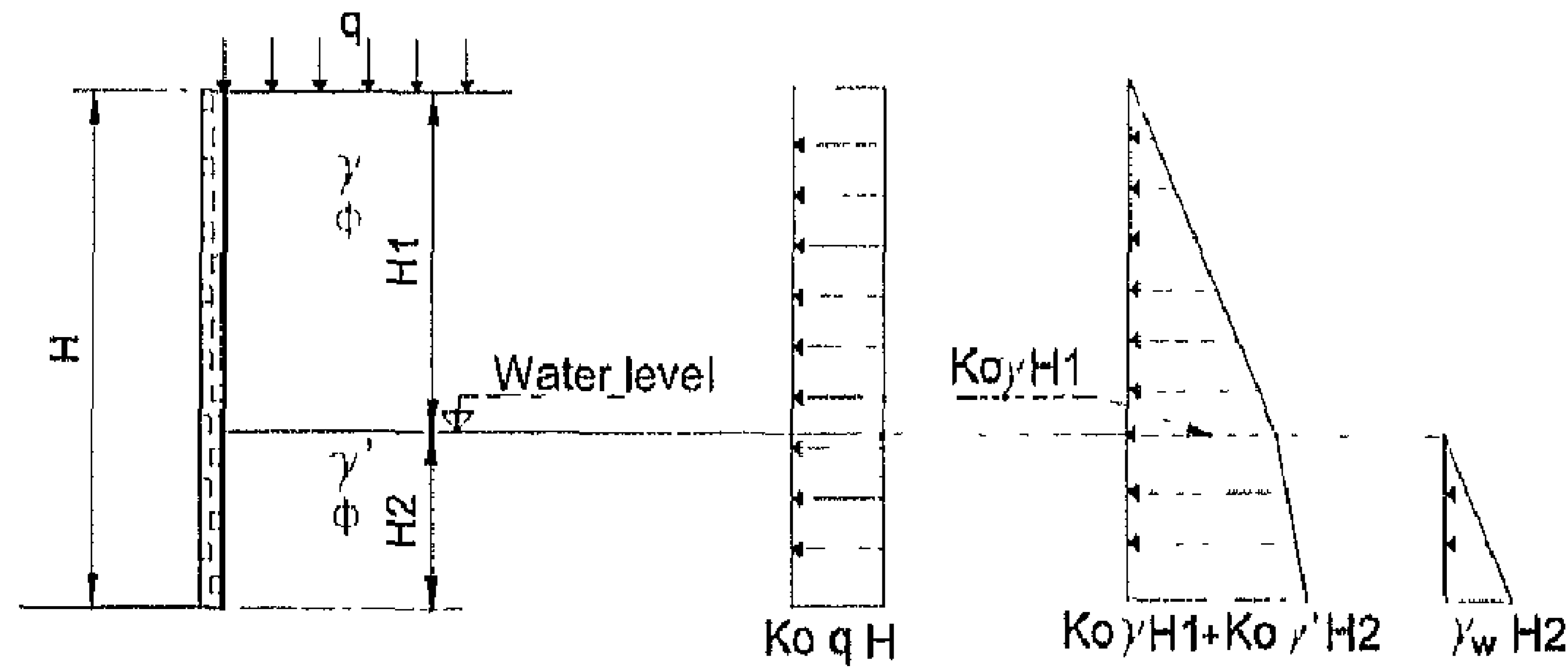
γ كثافة التربة.

Ko معامل ضغط التربة أثناء الراحة.

ϕ زاوية الاحتكاك Angle of friction للتربة المحجوزة.



(a) Diagram of lateral earth pressure at rest



(b) Diagram of lateral earth pressure at rest & Ground water pressure

الشكل رقم (٧,٣). ضغط التربة أثناء الراحة: (a) مخطط تمثيلي لحالة ضغط تربة أثناء الراحة على حائط ساند، (b) نفس الحالة a مع مياه جوفية.

حالة وجود مياه جوفية

في حالة وجود ماء جوفي على منسوب معين أعلى من أسفل الجدار، (انظر الشكل رقم ٧,٣ b) يتم حساب الضغط على عمق z من أعلى الجدار بنفس الطريقة أعلاه مع اعتبار أن كثافة التربة في المنطقة المغمورة γ' وتحسب من العلاقة التالية:

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w \quad (7.4)$$

حيث إن:

γ' كثافة التربة المغمورة Saturated soil.

γ_w كثافة الماء.

كذلك يجب حساب ضغط الماء وفق العلاقة

$$u = \gamma_w \times H2 \tag{7.5}$$

حيث إن:

u ضغط الماء.

H2 ارتفاع منسوب المياه الجوفية.

(٧,٣) ضغط التربة على الحوائط السائدة باستخدام طريقة رانكن

Soil Pressure on Retaining Wall Using Rankine Theory

قوة ضغط التربة على عمق z تعطى باستخدام علاقة رانكن Rankine active pressure– العلاقة (7.6) على اعتبار وجود تربة ردم حبيبية granular backfilling ذات تماسك cohesion c=0 خلف جدار غير قابل للاحتكاك Frictionless wall أما قوة دفع أو ضغط التربة الكلية المباشرة Active Pressure تعطى بالعلاقة (7.7)، (انظر الشكل رقم ٧,٤)

$$\sigma_a = \gamma_1 K_a z \tag{7.6}$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_1 H'^2 \tag{7.7}$$

$$K_a = \cos(\alpha)\frac{\cos(\alpha) - \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}}{\cos(\alpha) + \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}} \qquad \alpha > 0 \tag{7.8}$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \qquad for\ \alpha = 0 \tag{7.9}$$

$$P_h = P_a \cos(\alpha) \tag{7.10}$$

$$P_v = P_a \sin(\alpha) \tag{7.11}$$

حيث إن :

α زاوية ميل التربة عن الخط الأفقي.

ϕ_1 زاوية الاحتكاك Angle of friction للتربة المحجوزة.

γ_1 وزن واحدة الحجم للتربة المحجوزة.

σ_a إجهاد ضغط التربة على الحائط الساند.

P_a محصلة ضغط التربة على الحائط الساند.

z منسوب عمق التربة.

H' ارتفاع الجدار من طرف نهاية الأساس ضمن تربة الردم.

P_h المحصلة الأفقية لضغط التربة على الحائط الساند.

P_v المحصلة الرأسية لضغط التربة على الحائط الساند.

تجدر الإشارة إلى أن اتجاه ضغط التربة ، وكذلك محصلة ضغط التربة تكون موازية لخط ميل سطح التربة المحجوزة

قوة الدفع العكسي Passive force : تنشأ هذه القوة عندما يتحرك الجدار باتجاه ضغط التربة ، وتقدر قيمة هذه القوة وفق علاقة رانكن Rankine passive force

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D^2 + 2c_2 \sqrt{K_p}\, D \tag{7.12}$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi 2/2) \quad (7.13)$$

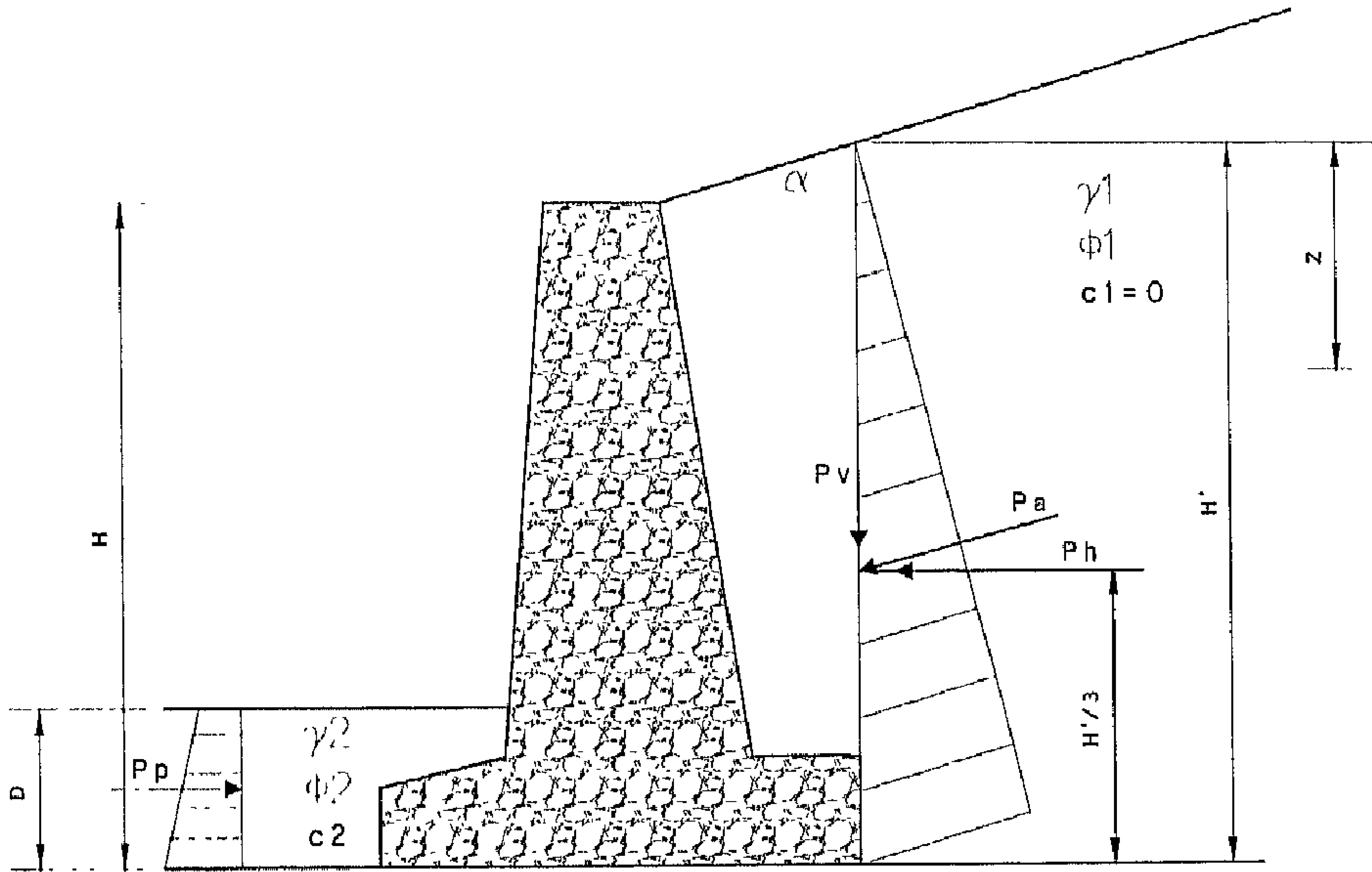
حيث إن :

α زاوية ميل التربة عن الخط الأفقي.

c_2 هي تماسك التربة أسفل أساس الحائط الساند.

ϕ_2 زاوية احتكاك التربة أسفل أساس الحائط الساند.

D ارتفاع التربة عند قدم Toe الحائط الساند.

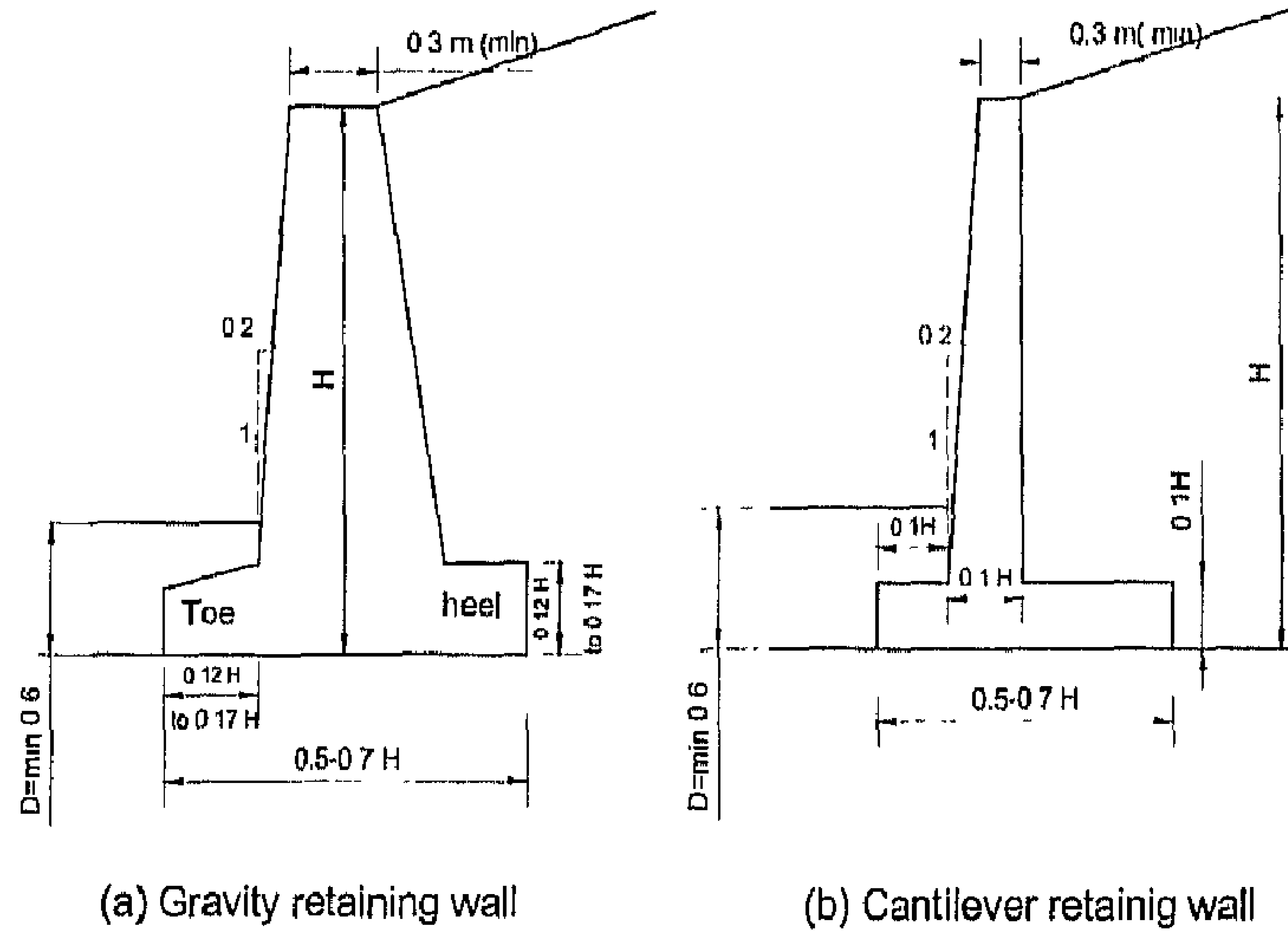


الشكل رقم (٧,٤). القوى المؤثرة على حائط ساند كتلي.

(٧,٤) تصميم الحوائط الساندة
Design of Retaining Walls

(٧,٤,١) أبعاد الحوائط الساندة Proportioning of Retaining Walls

يبين الشكل رقم (٧,٥) بعض الأبعاد الاسترشادية التي يمكن اتباعها عند افتراض أبعاد مختلف أجزاء الحائط الساند الكتلي والكابولي، في حالة الحائط الساند ذي الدعامات تكون سماكة الدعامة حوالي 30cm والبعد بين الدعامات 0.3-0.7 H.



الشكل رقم (٧,٥). الأبعاد الاسترشادية لتصميم الحوائط الساندة: (a) حائط ساند كتلي، (b) حائط ساند كابولي.

(٧,٤,٢) التحقيق على الانقلاب Check for Overturning

يتم ذلك من خلال حساب مجموع عزوم القوى الرأسية التي تعمل على قلب الجدار Overturning moment حول النقطة C، (انظر الشكل رقم ٧,٦) ومجموع عزوم

القوى التي تعمل على تثبيت الجدار أي عزوم القوى المقاومة Resisting Moment ومن ثم التأكد من أن نسبة العزم المقاوم إلى نسبة عزم القلب أكبر من 1.5.

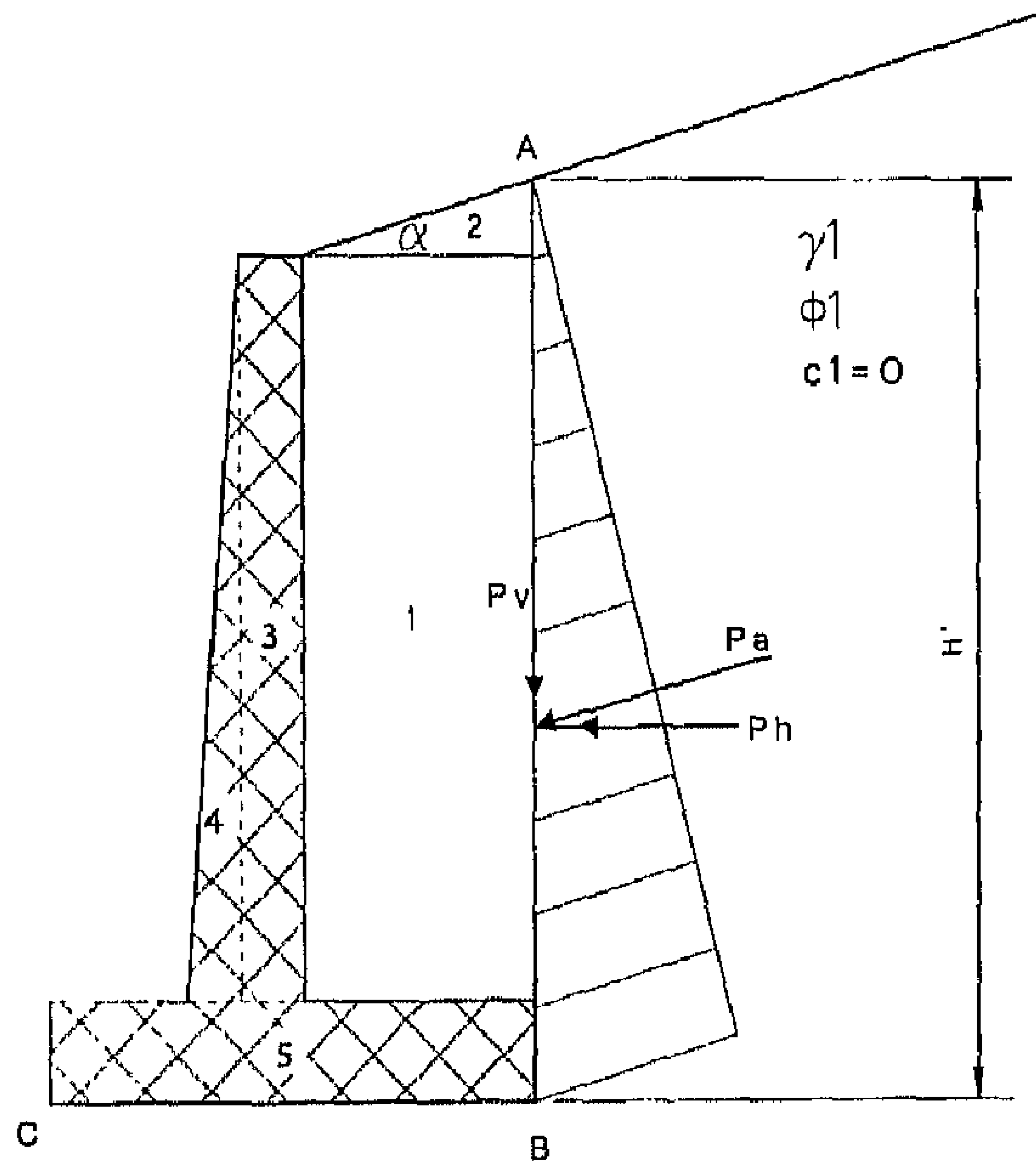
$$FS_{OT} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \geq 1.5 \qquad (7.14)$$

حيث إن :

ΣM_R مجموع عزوم القوى المقاومة حول النقطة C.

ΣM_o مجموع عزوم القوى القالبة حول النقطة C.

القوة التي تعمل على قلب الجدار هي المحصلة الأفقية لقوة ضغط التربة أو الضغط على الجدار، Ph أما القوى المقاومة فتشمل أوزان كتل الجدار (3, 4, 5) ووزن كتلة التربة فوق القسم الأيمن من الجدار (1, 2) والمركبة الرأسية لقوة الدفع Pv.



الشكل رقم (٧,٦). تحقيق الحائط الساند الكابولي على الانقلاب.

(٧,٤,٣) التحقيق على الانزلاق **Check for Sliding**

يتم ذلك من خلال حساب مجموع القوى الأفقية التي تعمل على زلق الجدار Driving force ، (انظر الشكل رقم ٧,٧) ومجموع القوى التي تعمل مقاومة الانزلاق ، ومن ثم التأكد من أن نسبة مجموع القوى المقاومة للانزلاق F_r إلى القوة المسببة للانزلاق F_d أكبر من 1.5.

$$FS_s = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} \geq 1.5 \tag{7.15}$$

يتم حساب القوى المانعة للانزلاق من العلاقة (7.16)، (انظر الشكل رقم ٧,٧) وتشمل قوة احتكاك بلاطة الحائط الساند مع التربة + القوة الناتجة عن تماسك التربة وقوة الدفع العكسي :

$$F_r = \sum F_R = (\sum V)\tan(\frac{2}{3}\phi_2) + \frac{2}{3}Bc_2 + P_p \tag{7.16}$$

حيث إن :

$\sum V$ مجموع القوى الرأسية المؤثرة على الجدار بما فيها الأوزان الذاتية.

ϕ_2 زاوية احتكاك التربة أسفل الجدار.

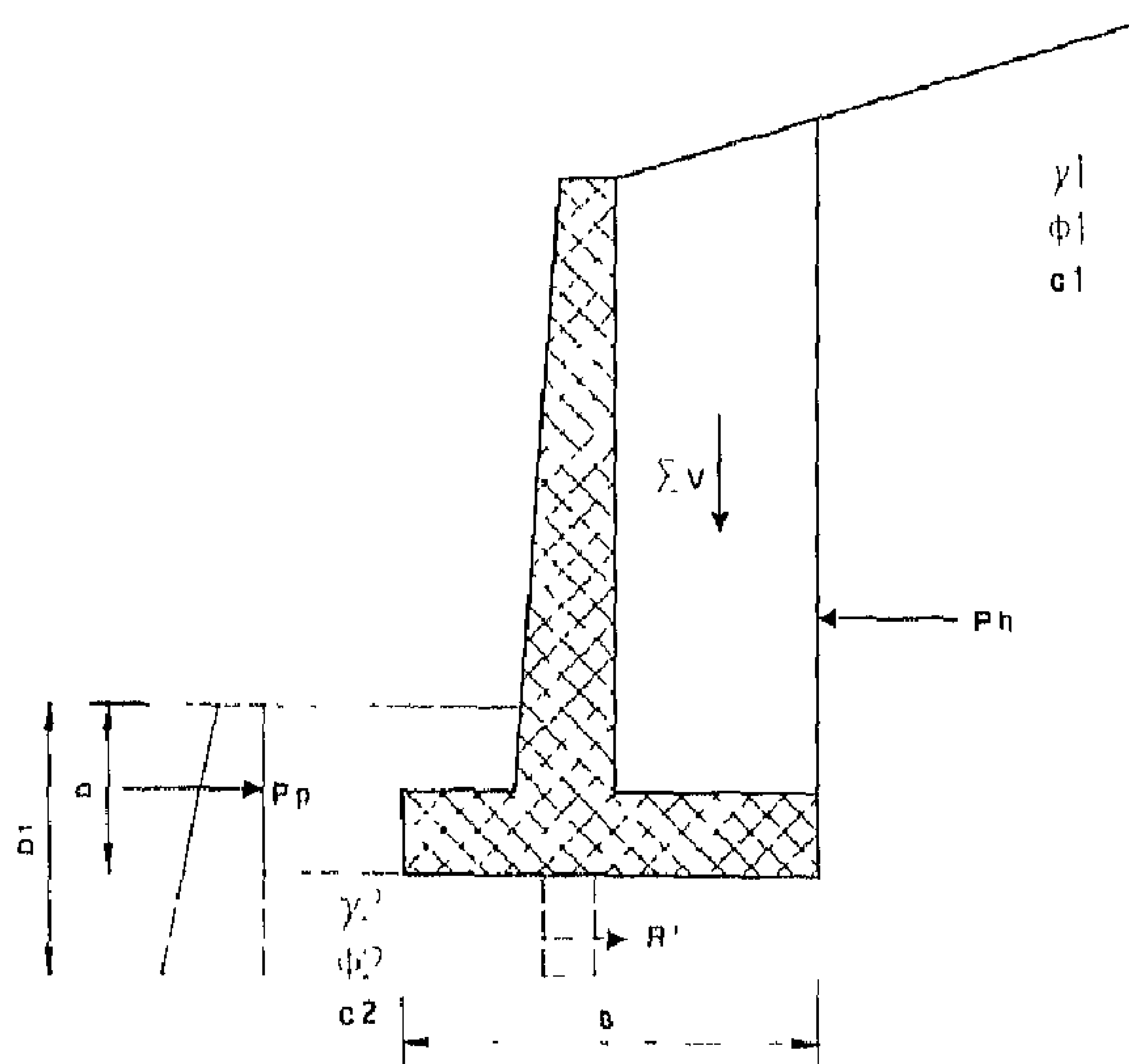
c_2 قوة تماسك التربة.

P_p قوة الدفع العكسي تحسب وفق العلاقة (7.12) في حالة حائط ساند عادي ووفق العلاقة (7.17) في حالة حائط ساند مع جزء سفلي مغروس في التربة Base Key.

$$P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma_2 D_1^{\ 2} + 2c_2\sqrt{K_p}D_1 \tag{7.17}$$

أما القوة المسببة للانزلاق فتحسب وفق ما يلي :

$$\sum F_d = P_h = P_a\cos(\alpha) \tag{7.18}$$



الشكل رقم (٧,٧). تصميم الحائط الساند الكابولي على الانزلاق.

(٧,٤,٤) التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة

Checking of Not Exceeding Soil Pressure

يجب التحقق من كون القوى المطبقة على الأساس لا تنقل إجهادا على التربة أكبر من التحمل المسموح للتربة يتم ذلك بحساب الضغط المطبق على التربة عند طرفي أساس الحائط الساند، (انظر الشكل رقم ٧,٨). إن القوى المؤثرة على الأساس تتمثل بمجموع القوى الرأسية Σv والقوة الأفقية $\alpha P_a \cos$ على فرض أن شعاع محصلة هاتين القوتين R يتقاطع مع الخط المنطبق على أسفل الأساس في النقطة E فتكون المسافة CE :

$$CE = \frac{M_{net}}{\Sigma V} \quad (7.19)$$

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_o \quad (7.20)$$

حيث إن :

M_{net} صافي محصلة عزوم القوى المؤثرة على الأساس حول النقطة C

تجدر الإشارة أن كلا من ΣM_o، ΣM_R سبق وأن تم تعريفهما وحسابهما في الفقرة (٧,٤,٢)

يتم حساب اللامركزية e أي (البعد الأفقي لمحصلة القوى المطبقة على الأساس عن مركز كتلة الأساس) باستخدام العلاقة (7.22)

$$e = B/2 - CE \tag{7.21}$$

$$e = B/2 - \frac{M_{net}}{\Sigma V} \tag{7.22}$$

بتطبيق معادلة حساب الإجهادات العامة، وتعويض حدودها على فرض شريحة بطول 1m من الأساس وعرض الأساس B يجب تحقيق

$$q = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{M_{net}\, y}{I} \tag{7.23}$$

$$q_{toe} = q_{max} = \frac{\Sigma V}{B}\left(1 + \frac{6e}{B}\right) < q_u \tag{7.24}$$

$$q_{heel} = q_{min} = \frac{\Sigma V}{B}\left(1 - \frac{6e}{B}\right) > 0 \tag{7.25}$$

حيث إن :

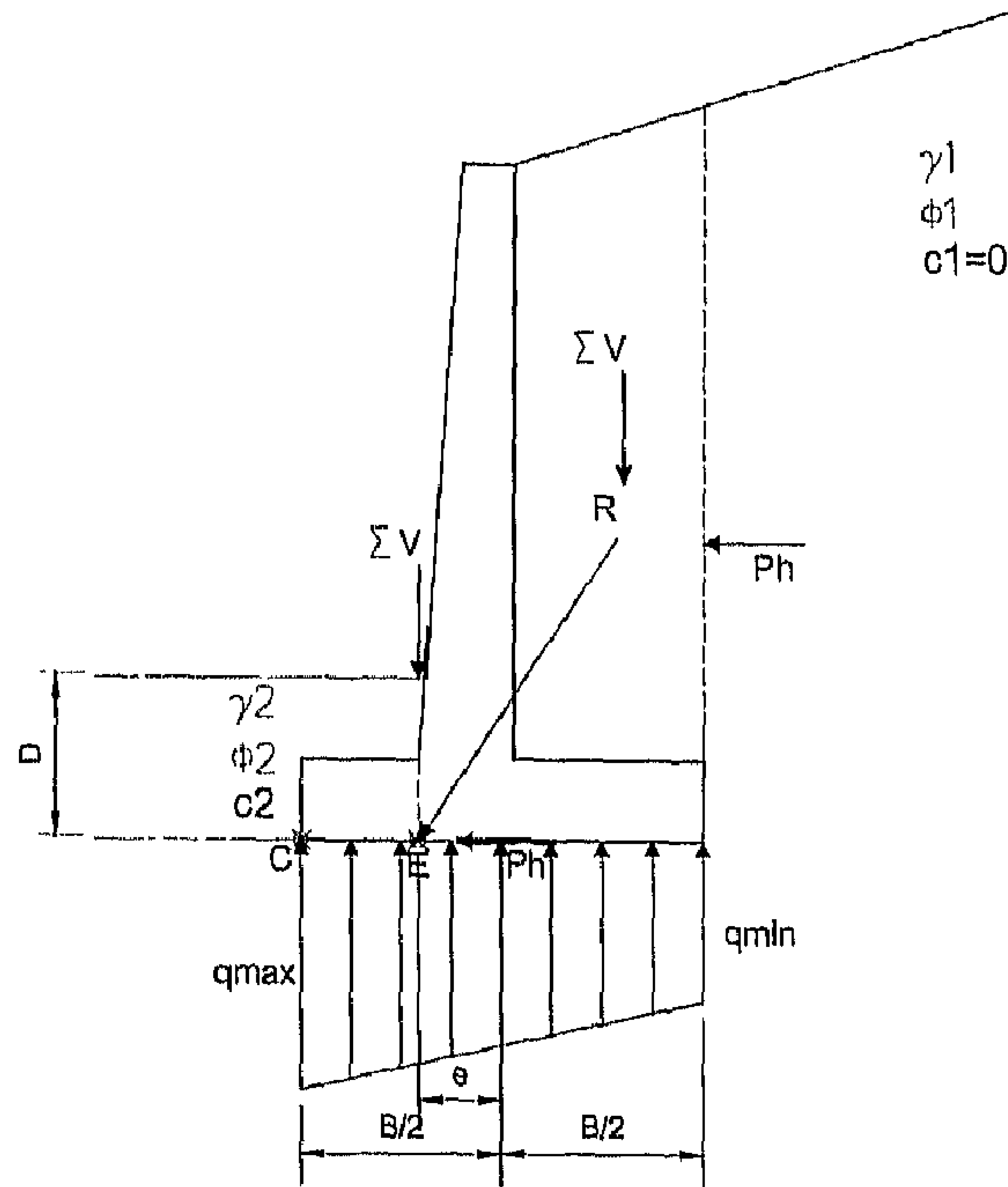
q_{toe} إجهاد التربة عند قدم الحائط الساند.

q_{heel} إجهاد التربة عند كعب الحائط الساند.

q_u تحمل التربة المسموح.

B عرض أساس الحائط الساند.

وفي حالة تجاوز إجهاد التربة المسموح، أو كون الإجهاد عند كعب أقل من الصفر يجب تغيير أبعاد الأساس والتحقق مرة أخرى.



الشكل رقم (٧,٨). التحقيق على عدم تجاوز الإجهاد في الحائط الساند الكابولي.

(٧,٥) جدران الأقبية
Basement Walls

جدران الأقبية هي الجدران التي تنشأ في المباني والمنشآت تحت منسوب الأرض الطبيعية لحماية هذه المنشآت من تأثير التربة والمياه الجوفية، ويمكن أن تتعرض جدران الأقبية إلى الأحمال التالية:

١- ضغط التربة والأحمال الأخرى المنقولة عبر التربة.

٢- الضغط الهيدروستاتيكي للماء في حال وجود مياه جوفية.

٣- الأحمال الرأسية المنقولة إلى الجدار في حال ارتكاز بلاطات الأقبية عليه.

(٧,٥,١) تصميم جدران الأقبية

يُعد جدار القبو كبلاطة معرضة إلى أحمال عمودية (ضغط التربة) ويمكن بالتالي أن تعمل هذه البلاطة باتجاه واحد أو باتجاهين حسب التباعد بين الأعمدة وبين بلاطات الأقبية في حال وجود عدة أقبية. على كل حال، يفضل تصميم بلاطة جدار القبو كبلاطة تعمل بالاتجاه الرأسي فقط وذلك لتجنب تحميل الأعمدة ضغطًا أفقيًا. يعتبر جدار القبو بلاطة موثوقة من الأسفل ومتمفصلة من الأعلى، ولذلك يفضل صب بلاطة الطابق الأرضي قبل ردم التربة خلف جدار القبو، أما في حال ردم التربة قبل صب بلاطة القبو فيعد الجدار في هذه الحالةساندا كابوليا. في حال وجود عدة أقبية تكون بلاطة القبو مستمرة ذات بحور متعددة. في حال تنفيذ الردم على جدران الأقبية بعد صب بلاطة سقف القبو، وعلى اعتبار أن بلاطة سقف القبو تؤمن مسندًا جانبيًا للجدار فلا يمكن أن يتعرض لإزاحة ويمكن اعتبار ضغط التربة في أثناء الراحة، (انظر الفقرة ٧,٢).

(٧,٦) أمثلة تطبيقية

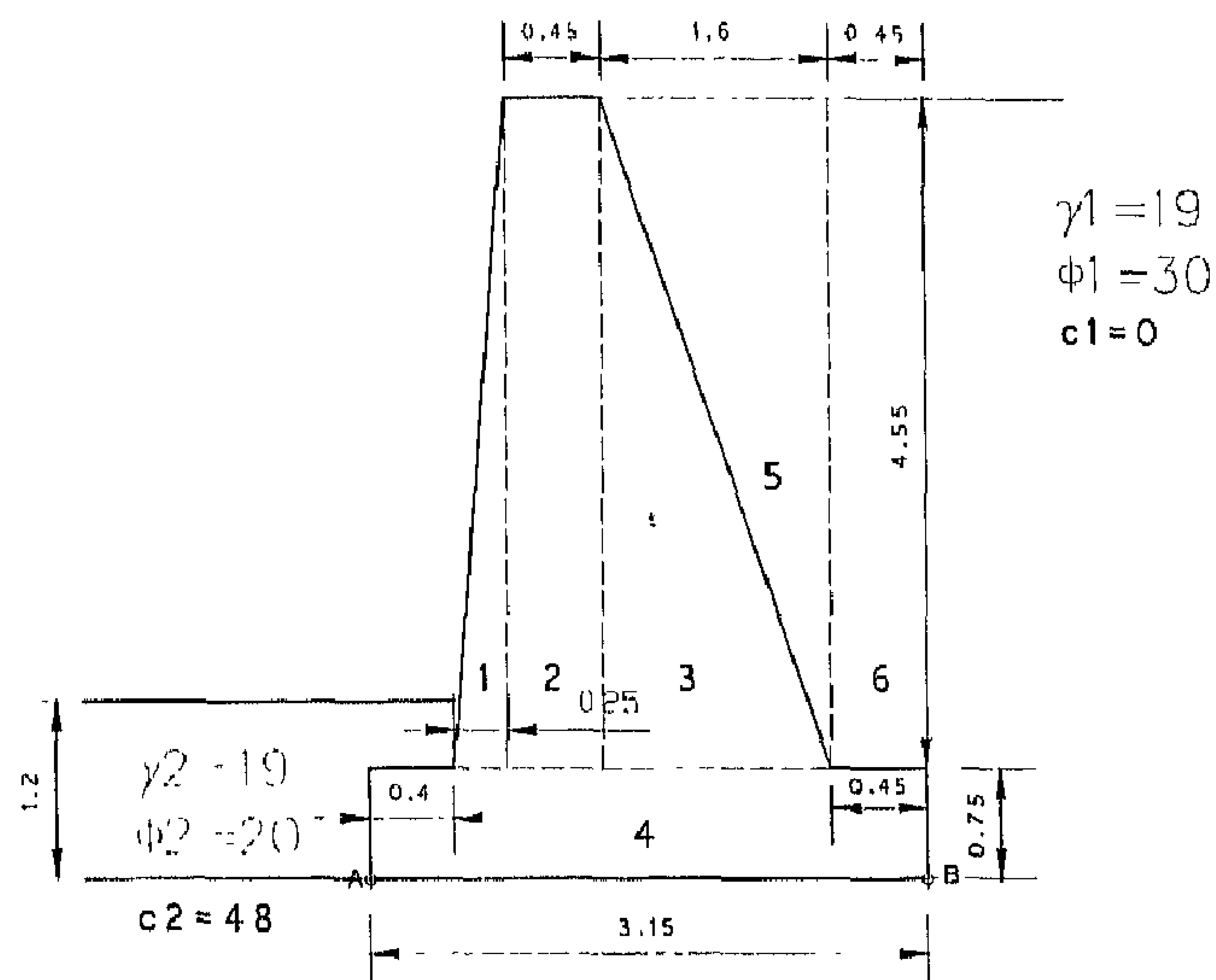
Application Examples

المثال (٧,١): جدار ساند كتلي Gravity Retaining Wall

يبين الشكل رقم (٧,٩) جدارًا ساندًا كتليًا من الخرسانة، المعلومات المتعلقة بالتربة مبينة على الشكل، يطلب تحقيق الجدار على الانقلاب، الانزلاق وعدم تجاوز تحمل التربة، علمًا أن كثافة الخرسانة $24\ KN/m^3$ وتحمل التربة المسموح $q_a = 170\ KPa$.

الغاية من المثال

تدقيق حائط ساند كتلي.



الشكل رقم (٧,٩). حائط ساند كتلي.

١- التحقيق على الانقلاب

على اعتبار شريحة بعرض (1.0 m) من طول الجدار وباستخدام العلاقتين (7.7, 7.9) يتم حساب عزم الانقلاب M_{OT} وفق ما يلي :

$$H' = 4.55 + 0.75 = 5.3 \text{ m}$$

$$K_a = \tan^2(45\text{-}30/2) = \tan^2(30) = 0.33$$

$$P_a = 0.5\times0.33\times19\times5.3^2 = 88.1 \text{ KN}$$

$$M_{OT} = P_h \times H'/3$$

$$P_h = P_a = 88.1\ KN$$

$$M_{OT} = 88.1 \times 5.3/3 = 155.6\ KN.m$$

ولحساب العزم المقاوم M_R ترتب الحسابات في الجدول رقم (٧,١).

الجدول رقم (٧,١). حساب العزم المقاوم للانقلاب.

رقم القطاع	الوزن W (KN)	البعد عن النقطة A أو الذراع d (m)	M= W×d (KN.m)
1	W1=0.5×(0.25×4.55)×24= 13.65	0.567	7.74
2	W2= (0.45×4.55)×24= 49.1	0.875	43
3	W3=0.5×(1.6×4.55)×24= 87.36	1.63	142.4
4	W4= (0.75×3.15)×24= 56.7	1.575	89.3
5	W5=0.5×(1.6×4.55)×19= 69.16	2.167	149.9
6	W6= (0.45×4.55)×19= 38.9	2.925	113.79
Σ	314.87		546.13

وبالتالي يكون عامل الأمان ضد الانقلاب

$$SF = M_R / M_{OT}$$

$$SF = 546.13 / 155.6 = 3.51 > 1.5\ (Ok.)$$

٢- التحقيق على الانزلاق

بإهمال قوة ضغط التربة العكسي وباستخدام العلاقة (7.16) يتم حساب القوة المقاومة للانزلاق وفق ما يلي (باعتبار شريحة بعرض 1.0 m)

$$F_R = 314.87\times\tan(2/3\times20) + (2/3)\times3.15\times48 = 176\ KN$$

وبذلك يكون عامل الأمان ضد الانزلاق

$$SF = F_R/P_h$$

$$SF = 176/88.1 = 2 > 1.5 \text{ (Ok.)}$$

٣- التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة

باستخدام العلاقات (7.20, 7.22, 7.24,7.25) يتم حساب اللامركزية والضغط الأعظمي في قدم الجدار والضغط الأصغري في كعب الجدار

$$M_{net} = M_R - M_{OT} = 546.13\text{-}155.6 = 391 \text{ KN.m}$$

$$e = B/2\text{-}(M_{net}/\Sigma v) = 3.15/2\text{-}(391/314.87) = 0.335 \text{ m}$$

$$q_A = q_{max} = (314.87/3.15)\times(1+6\times0.335/3.15) = 163.7 \text{ KN/m}^2$$

$$q_A < q_a\text{=}170 \text{ (Ok.)}$$

$$q_B = q_{min} = (314.87/3.15)\times(1\text{-}6\times0.335/3.15) = 36.2 \text{ KN/m}^2$$

$$q_B > 0 \text{ (Ok.)}$$

المثال (٧,٢): جدار ساند كابولي من الخرسانة المسلحة Cantilever R.C. Retaining Wall

يبين الشكل رقم (٧,١٠) جدارا ساندا كابوليا من الخرسانة المسلحة ، المعلومات المتعلقة بالتربة مبينة على الشكل ، يطلب تحقيق الجدار على الانقلاب ،

الانزلاق وعدم تجاوز تحمل التربة ، ومن ثم تصميم المقاطع علما أن كثافة الخرسانة $25\ KN/m^3$ وتحمل التربة $q_a = 200\ KPa$ وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c=20 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y=414 MPa.

الغاية من المثال

تصميم حائط ساند كابولي من الخرسانة المسلحة ، مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه (تصميم المقطع فقط)

.SAP 2000

١ – قوة الضغط على الجدار

على اعتبار شريحة بعرض (1.0 m) من طول الجدار وباستخدام العلاقتين (7.7, 7.8)

$$H' = H1 + H2 + H3$$

$$H' = 2.6 \times \tan(10) + 6 + 0.7 = 0.458 + 6 + 0.7 = 7.158$$

$$K_a = \cos(10)\frac{\cos(10) - \sqrt{\cos^2(10) - \cos^2(30)}}{\cos(10) + \sqrt{\cos^2(10) - \cos^2(30)}} = 0.35\ \text{m}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 0.35 \times 18 \times 7.158^2 = 161.4\ \text{KN}$$

$$P_h = P_a \times \cos(10) = 161.4 \cos(10) = 159\ \text{KN}$$

$$P_v = P_a \times \sin(10) = 161.4 \sin(10) = 28\ \text{KN}$$

٢- التحقيق على الانقلاب

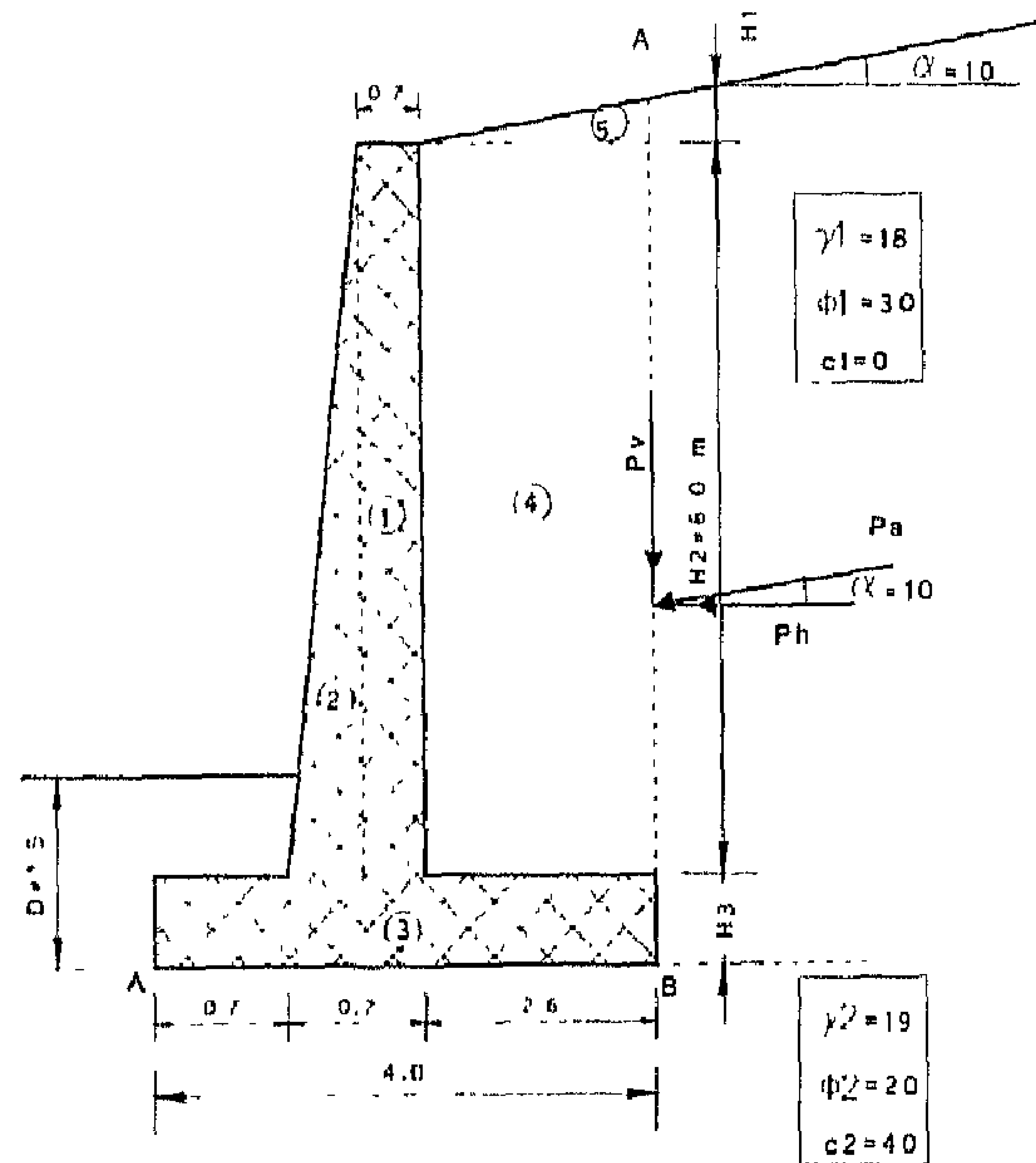
لحساب العزم المقاوم M_R، ترتب الحسابات في الجدول رقم (٧,٢)، أما عزم الانقلاب فهو

$$M_{OT} = P_h \times H'/3$$

$$M_{OT} = 159 \times 7.158/3 = 379.4 \text{ KN.m}$$

$$SF = M_R / M_{OT}$$

$$SF = 1143 / 379.4 = 3.01 > 1.5 \text{ (Ok.)}$$



الشكل رقم (٧,١٠). مقطع في الجدار الساند (الرسم ليس وفق مقياس).

الجدول رقم (٧,٢). حساب العزم المقاوم للانقلاب.

رقم القطاع	الوزن W (KN)	البعد عن النقطة A أو الذراع d (m)	M= W×d (KN.m)
1	W1=0.5×6×25= 75	1.15	86.25
2	W2= 0.5(0.2×6)×25= 15	0.833	12.5
3	W3=0.7×4×25= 70	2	140
4	W4= 2.6×6×18= 281	2.7	758.7
5	W5=0.5×(2.6×0.458)×18= 10.7	3.13	33.5
6	P_v=28	4	112
Σ	480		1143

٣- التحقيق على الانزلاق

القوة المسببة للانزلاق هي المحصلة الأفقية لقوة ضغط التربة

$$P_h = 159 \text{ KN}$$

القوى المانعة للانزلاق تشمل قوة احتكاك بلاطة الجدار الساند مع التربة + القوة الناتجة عن تماسك التربة وقوة الضغط العكسي

$$K_p = \tan^2(45+20/2) = 2.04$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D^2 + 2c_2\sqrt{K_p}D$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 2.04 \times 19 \times 1.5^2 + 2 \times 40\sqrt{2.04} \times 1.5 = 215 \text{ KN}$$

$$\sum F_R = (\sum V)\tan\frac{2}{3}\phi_2 + \frac{2}{3}Bc_2 + P_p$$

$$\Sigma F_R = 480 \times \tan(0.67 \times 20) + 0.67 \times 4 \times 40 + 215 = 437 \text{ KN}$$

$$SF = 437/159 = 2.75 > 1.5 \text{ (Ok.)}$$

٤- التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة

باستخدام العلاقات (7.20, 7.22, 7.24, 7.25) يتم حساب اللامركزية والضغط الأعظمي في قدم الجدار والضغط الأصغري في كعب الجدار ورسم مخطط الإجهادات المؤثرة على الجدار، (انظر الشكل رقم ٧,١١ a)

$$M_{net} = M_R - M_{OT} = 1143\text{-}379.4 = 763.6 \text{ KN.m}$$

$$e = B/2\text{-}(M_{net}/\Sigma v) = (4/2)\text{-}(763.6/480) = 0.41 \text{ m}$$

$$q_A = q_{max} = (480/4)\times[1+(6\times0.41/4)\ ]= 194 \text{ KN/m}^2$$

$$q_A < q_a{=}200 \text{ (Ok.)}$$

$$q_B = q_{min} = (48/4)\times[1\text{-}(6\times0.41/4)] = 4.62 > 0 \text{ (Ok.)}$$

٥- تصميم المقاطع

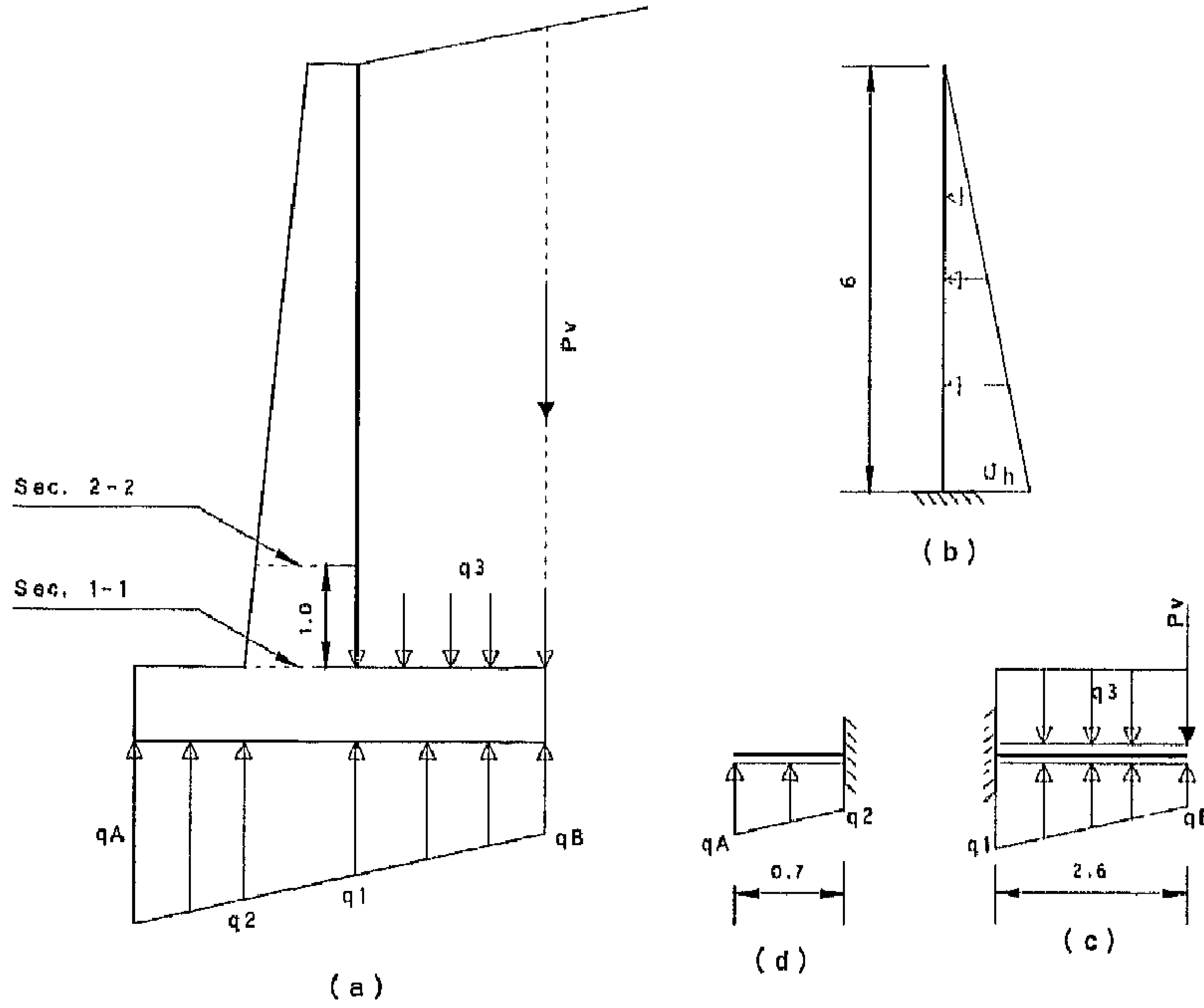
يتم نمذجة كل من الجذع، الكعب والقدم بتمثيلهما باستخدام عناصر خطية وفق ما يلي، وذلك لاستنتاج الجهود وتصميم المقاطع. كما تجدر الإشارة إلى أنه يمكن استخدام عناصر صفائحية Shell elements في النمذجة.

تصميم الجذع Stem design

يتم تمثيل الجذع بعمود كابولي ذي عرض (1.0 m) وعمق متغير (0.5 m في الأعلى، 0.7 في الأسفل)، نفترض أن العمود مثبت من الأسفل، يتم تحميله بحمل ضغط التربة المثلثي، (انظر الشكل رقم ٧,١١ b) حيث إن:

$$\sigma_h = \gamma_1 K_a z \cos(\alpha)$$

$$\sigma_h = 18\times0.35\times6\times\cos(10) = 37.2 \text{ KN}$$



الشكل رقم (٧,١١). تحليل الحائط الساند الكابولي: (a) الإجهادات المؤثرة على الأساس، (b) النموذج التحليلي للجذع stem، (c) النموذج التحليلي للكعب heel، (d) النموذج التحليلي للقدم toe.

أ) المقطع (1-1)

M = 223.2 KN.m ، h=0.7m , d = 0.64 m

$M_u = 1.6 \times 223.2 = 357$ KN.m

$\rho=\rho_{min}=0.0027$

$A_s = 0.0024 \times 100 \times 64 = 15.36$ cm2 (ϕ22@200)

ب) المقطع (2–2)

M = 129.2 tonm ، h=0.67m , d = 0.61 m

$M_u = 1.6 \times 129.2 = 207$ KN.m

$\rho=\rho_{min}=0.0015$

$A_s = 0.0015 \times 100 \times 61 = 9.15$ cm2 (ϕ22@200)

تصميم الكعب Heel design

يتم تمثيل الكعب بكمرة كابولية ذات ارتفاع 0.7 م وعرض (1.0 m)، نعتبر أن الكمرة مثبتة من طرف اليسار، الكمرة محملة بالأحمال الموضحة بالشكل رقم (c ٧,١١)، حيث حمل رد فعل التربة من الأسفل (شبه منحرف)

$q_B = 46.2$ KN/m

$q_1= 142.3$ KN/m

وزن التربة من الأعلى (تحسب طبقا للارتفاع الوسطي)

$q_3 = H_{av} \times \gamma 1$

$q_3 = 0.5(6+6.458) \times 18 = 112$ KN/m

المحصلة الرأسية لضغط التربة

$P_v = 28$ KN/m

التحقيق على القص أحادي الاتجاه : القص على بعد d=0.64 من وجه الجدار

$V = 118.8$ KN, $V_u = 1.6 \times 118.8 = 190$ KN

$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} Bd$, $V_c = \frac{\sqrt{20}}{6}(1.0 \times 0.64) \times 1000 = 477$ KN

$V_u = 190 < 0.75 \times 477 = 358$ KN (Ok.)

التسليح العلوي لمقاومة عزم الانحناء

$h = 0.7$m , $d = 0.64$ m ، $M = -244$ KN.m

$M_u = 1.6 \times 244 = 390$ KN.m

$\rho = 0.0026$, $A_s = 0.0026 \times 100 \times 64 = 16.64$ cm2 (ϕ22@200 mm)

تصميم القدم Toe design

يتم تمثيل القدم بكمرة كابولية ذات ارتفاع 0.7m وعرض 1m ، نعتبر أن الكمرة مثبتة من طرف اليمين، الكمرة محملة بالأحمال الموضحة بالشكل رقم (d ٧,١١)، حيث إن

حمل رد فعل التربة من الأسفل (شبه منحرف)

$$q_A = 194\ KN/m,\ q_2 = 168.1\ KN/m$$

التحقيق على القص أحادي الاتجاه: القص على بعد d=0.64 من وجه الجدار يساوي تقريبا q_A

$$V=194\ KN,\ V_u = 1.6\times118.8 = 310\ KN$$

$$V_u=310<0.75\times477=358\ (Ok.)$$

التسليح العلوي لمقاومة عزم الانحناء

$$M = 41\ KN.m,\ M_u = 1.6\times41 = 65.6\ KN.m$$

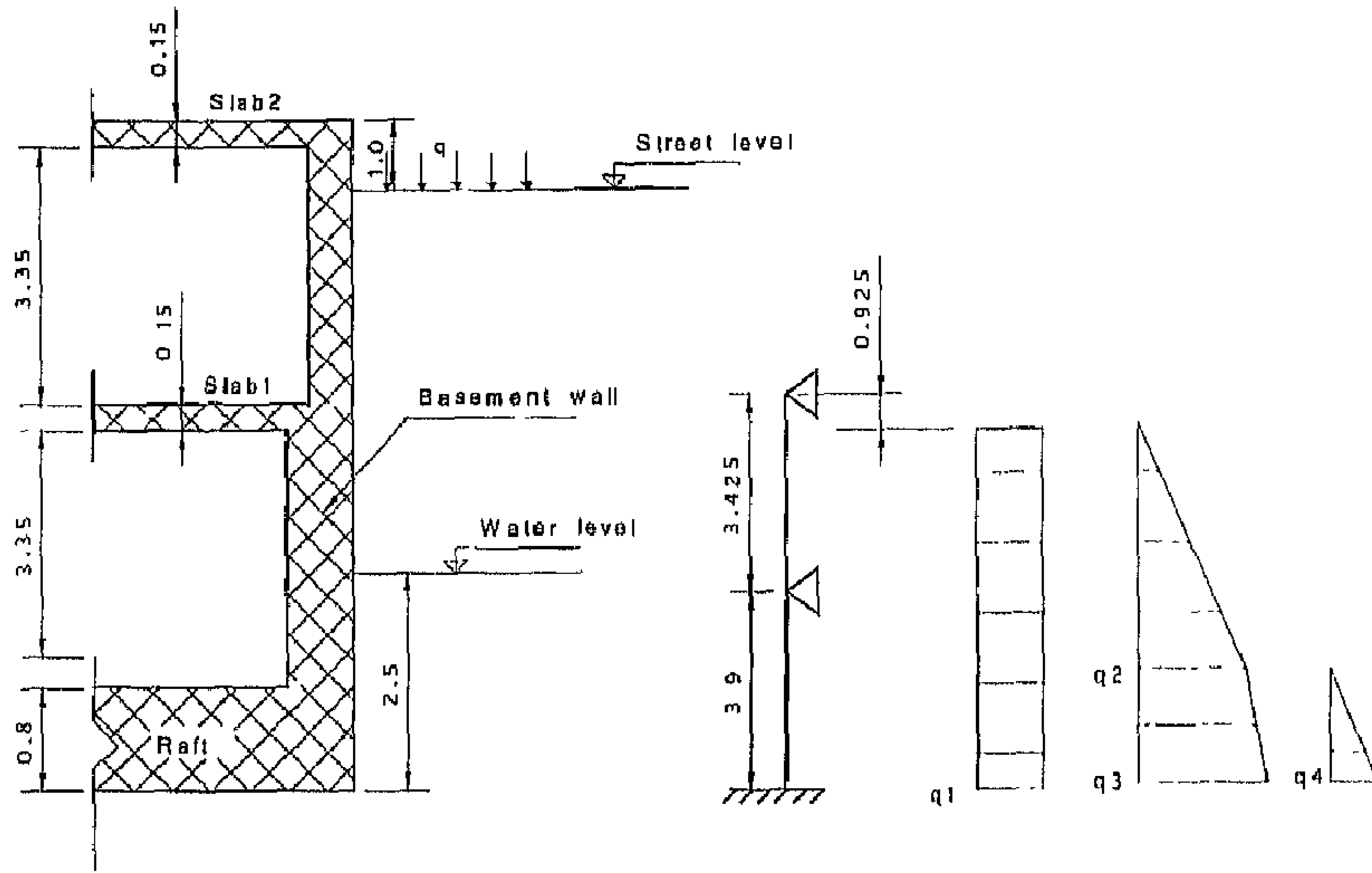
$$\rho= \rho_{min}=0.0018,\ A_s = 0.0018\times100\times64 = 11.52\ cm2\ (\phi\ 18@200)$$

مخطط التسليح : انظر الملحق C10.

المثال (٧,٣): تصميم جدار قبو Design of Basement Wall

يطلب تصميم جدار قبو لمبنى طابقي يحتوي على قبو عدد 2 تحت الأرض، (انظر الشكل رقم ٧,١٢) مع العلم أن المبنى مواجه لشارع رئيس حيث يفترض أن الحمل الحي المطبق على سطح التربة جوار الشارع $q= 7.5\ KN/m^2$، كثافة تربة الردم

γ=18 KN/m^3، الحمل الرأسي المنقول من كل بلاطة قبو إلى الجدار, (P_D= 30 KN/m, P_L=10 KN)، زاوية احتكاك التربة $\phi = 30°$ وأن المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط f'c=20 MPa وإجهاد خضوع الفولاذ f_y=414 MPa.



الشكل رقم (٧,١٢). حائط جدار قبو لطابقين: (a) مقطع في جدار قبو، (b) مخطط الجسم الطليـــق مـــع الأحمال.

الغاية من المثال

تصميم جدار قبو بطابقين ورسم مخطط التسليح.

البرنامج المفضل استخدامه (تصميم المقطع فقط)

SAP 2000.

١- حساب قوى ضغط التربة والماء على الجدار (الشكل رقم ٧,١٢ b)

باعتبار شريحة بعرض (1.0 m) من طول الجدار ، الضغط الجانبي الناجم عن الحمل الحي

$$K_0 = 1 - \sin\phi = 1 - \sin(30) = 0.5$$

$$q_1 = K_0 \times q = 0.5 \times 7.5 = 3.75 \text{ KN/m}$$

الضغط الجانبي الناتج عن التربة

$$q_2 = K_0 \times \gamma \times H = 0.5 \times 18 \times 4.3 = 38.7 \text{ KN/m}$$

$$q_3 = (K_0 \times \gamma \times H1) + (K_0 \times \gamma' \times H2)$$

$$q_3 = 38.7 + 0.5 \times (1.8 - 10 \times 2.1) = 47.1 \text{ KN/m}$$

الضغط الجانبي الناتج عن الماء

$$q_4 = \gamma \times H = 10 \times 2.1 = 21 \text{ KN/m}$$

٢- النموذج التحليلي M1 (الشكل رقم ٧,١٣)

يتم تمثيل شريحة من الجدار بعنصر إطاري Frame element بعرض (1.0 m) وبسماكة الجدار في طابق القبو السفلي والعلوي (٤٠ ، ٣٠ سم) على التوالي ، وتحميلها بالأحمال الجانبية وفق الشكل رقم (b ٧,١٢) وكذلك الأحمال الرأسية P_D, P_L في كل عقدة من المسندين العلويين ، بالنسبة لشروط الاستناد Support conditions يكون المسند السفلي مثبتًا Fixed أي درجات الحرية المقيدة هي : (u1, u3, r2)، أما المسندان العلويان فيتم تقييد درجة الحرية (u1) فقط ، علما أن النموذج مستو وليس فراغيا، ودرجات الحرية المتاحة هي فقط (u1, u3, r2). الجدير بالذكر أنه يمكن أيضًا تمثيل بلاطات جدران

الأقبية باستخدام عناصر صفائحية Shell elements وفي حالة وجود جدران داعمة يمكن تمثيلها باستخدام عناصر إطارية Frame elements.

٣- النتائج

يظهر الجدول رقم (٧,٣) نتائج التحليل الإنشائي (عزوم M وقوى رأسية N) باعتبار حالة تركيب الأحمال التالية

$$Comb1 = 1.2D+1.6L+1.6H+1.2F$$

حيث إن :

D الحمل الميت ، L الحمل الحي.

H حمل ضغط التربة ، F حمل ضغط الماء.

مع العلم أنه في الجدول رقم (٧,٣)، العزم السالب يعني التسليح من جهة اليمين (جهة التربة)، وقيمة العزم الموجب تعني التسليح بالجهة المقابلة، وقيمة القوة الرأسية السالبة تعني حالة ضغط للمقطع.

الجدول رقم (٧,٣). قيم الجهود القصوى في مقاطع الجدار المهمة (KN, m).

الجدار العلوي (مكان المقطع)				الجدار السفلي (مكان المقطع)			
وسط الجدار		أسفل الجدار		وسط الجدار		أسفل الجدار	
Nu	Mu	Nu	Mu	Nu	Mu	Nu	Mu
-70	2	-82	-57	-156	59	-179	-125

٤- تصميم المقاطع

يتم حساب التسليح باعتبار أن المقطع معرض إلى قوة رأسية وعزم (مثل تصميم عمود)

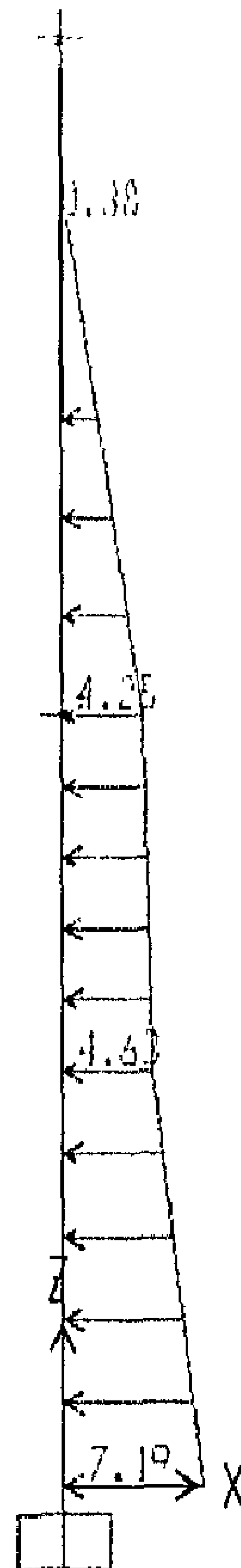
الجدار السفلي

M_u=-125 KN.m/m, N_u=-179 KN/m, $\rho=\rho_{min}$=0.01 (ϕ 16@100 mm)

الجدار العلوي

M_u=-57 KN.m/m, N_u=-82 KN, $\rho=\rho_{min}$=0.01 (ϕ 14@100)

٥- مخطط التسليح : انظر الملحق C10.



الشكل رقم (٧,١٣). النموذج التحليلي M1 مع الأحمال الجانبية.

الفصل الثامن

تنفيذ الأساسات
FOUNDATION CONSTRUCTION

(٨,١) رسومات الأساسات
Foundation Drawings

يجب أن تضم لوحة الأساسات كافة التفاصيل الإنشائية اللازمة لتنفيذ الأساسات بشكل سليم حيث يجب أن تحتوي هذه اللوحة على معلومات تبين مواقع الأعمدة وأبعادها (x, y) عن المحاور ومساقط القواعد بمقياس 1/100 أو 1/50 وكذلك مقاطع فيها تبين السماكة وتفاصيل التسليح بمقياس 1/10 ، 1/20 أو 1/25 ويجب أن تضم لوحة الأساسات ملاحظات التنفيذ مثل :

تحمل التربة المستخدم في تصميم الأساسات ومنسوب التأسيس ، عدد الطوابق التي صممت عليها الأساسات ، طريقة العزل المستخدمة في الأساسات ، نوع الخرسانة وحديد التسليح.

(٨,٢) أعمال تخطيط الموقع والحفر وتنفيذ الأساسات
(انظر الشكلين رقمي ٨,١ و٨,٢)
Site, Excavation & Foundation Works

١ – تحديد الموقع بواسطة الأجهزة المساحية (مثل التيودوليت ، توتال ستيشن) ، ودق الأوتاد التي تحدد الموقع وعمل ميزانية شبكية للموقع لتحديد مناسيب الأماكن

المراد تنفيذ الأساسات عليها وكميات الحفر والردم، ويفضل أن يكون بعد مربعات الشبكة 10m وأن يحدد لكل نقطة في الشبكة الإحداثيات x, y, z.

٢- إعداد سور مؤقت حول الموقع أو ما يسمى (خنزيرة) وإعداد المحاور بالاتجاهين وتحديد مراكز الأعمدة، ومن ثم تحديد القواعد باستخدام رمل بلون مختلف عن لون تربة الموقع.



الشكل رقم (٨,١). أعمال ترتيب الحديد في قاعدة منفصلة.

٣- الحفر مع استخدام الميزان أو النيفو لتحديد منسوب/مناسيب الحفر.

٤- تنفيذ طبقات تحسين التربة (الإحلال) إن وجدت وتنفيذ أعمال الخرسانة العادية (فرشة النظافة).

٥- تنفيذ المرحلة الأولى للعزل الأفقي بين الخرسانة العادية والمسلحة إن وجدت.

٦- تنفيذ شدات (قالب) الخرسانة المسلحة للأساسات، صف حديد التسليح حسب القطر والعدد والأبعاد والمواقع المحددة في الرسومات، وصب الخرسانة المسلح ومعالجتها حسب الموصفات.

٧- تنفيذ الطبقة الثانية من العزل لجوانب وسطح القواعد، ويكون العزل إما على البارد باستخدام البيتومين، أو على الحار باستخدام ألواح الممبرين Membrane (مادة صلبة بسماكة ٤ مم يمكن أن توصل قطعها بالموقع بالتسخين).

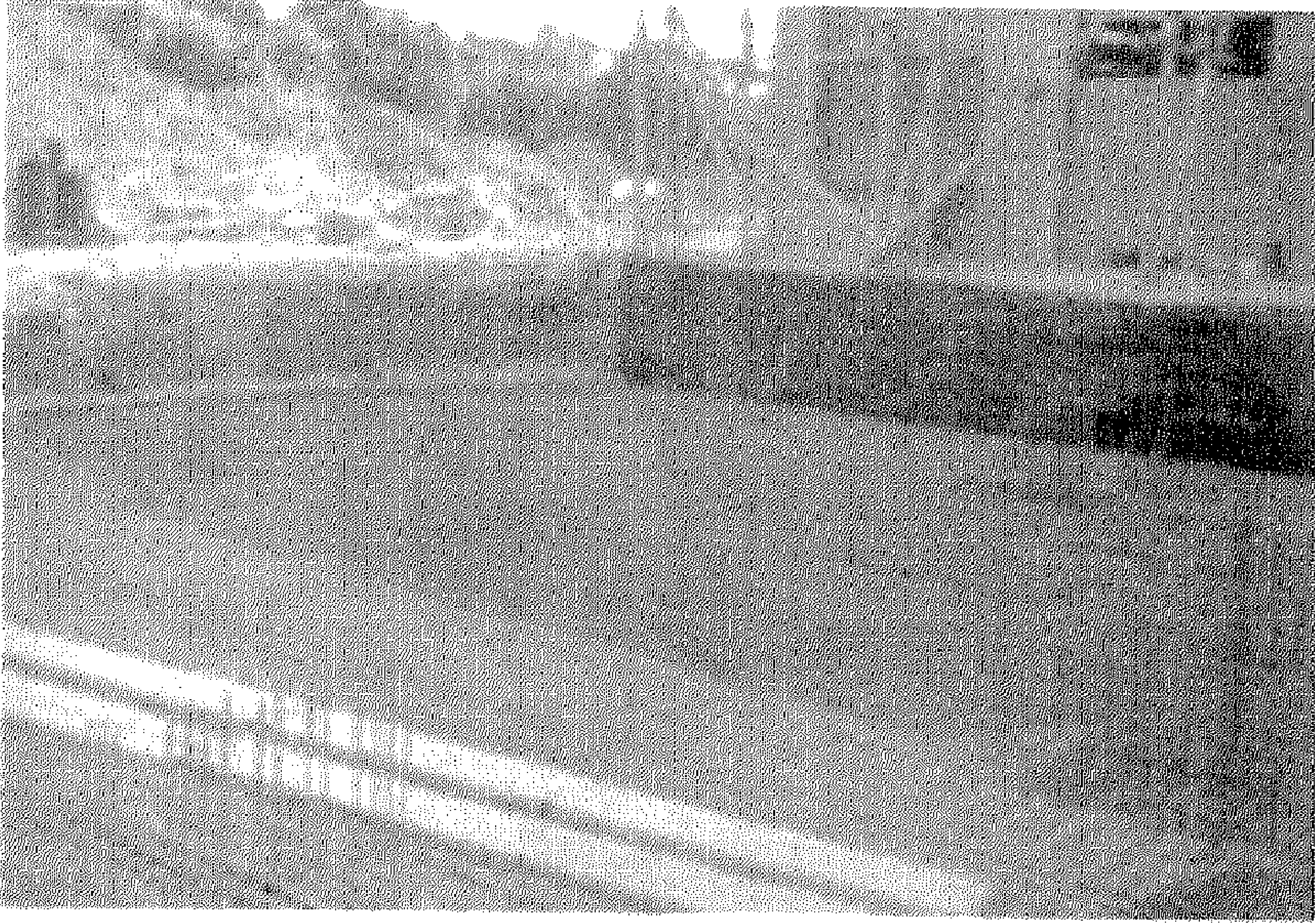


الشكل رقم (٨,٢). أعمال العزل بالبيتومين للقواعد المنفصلة.

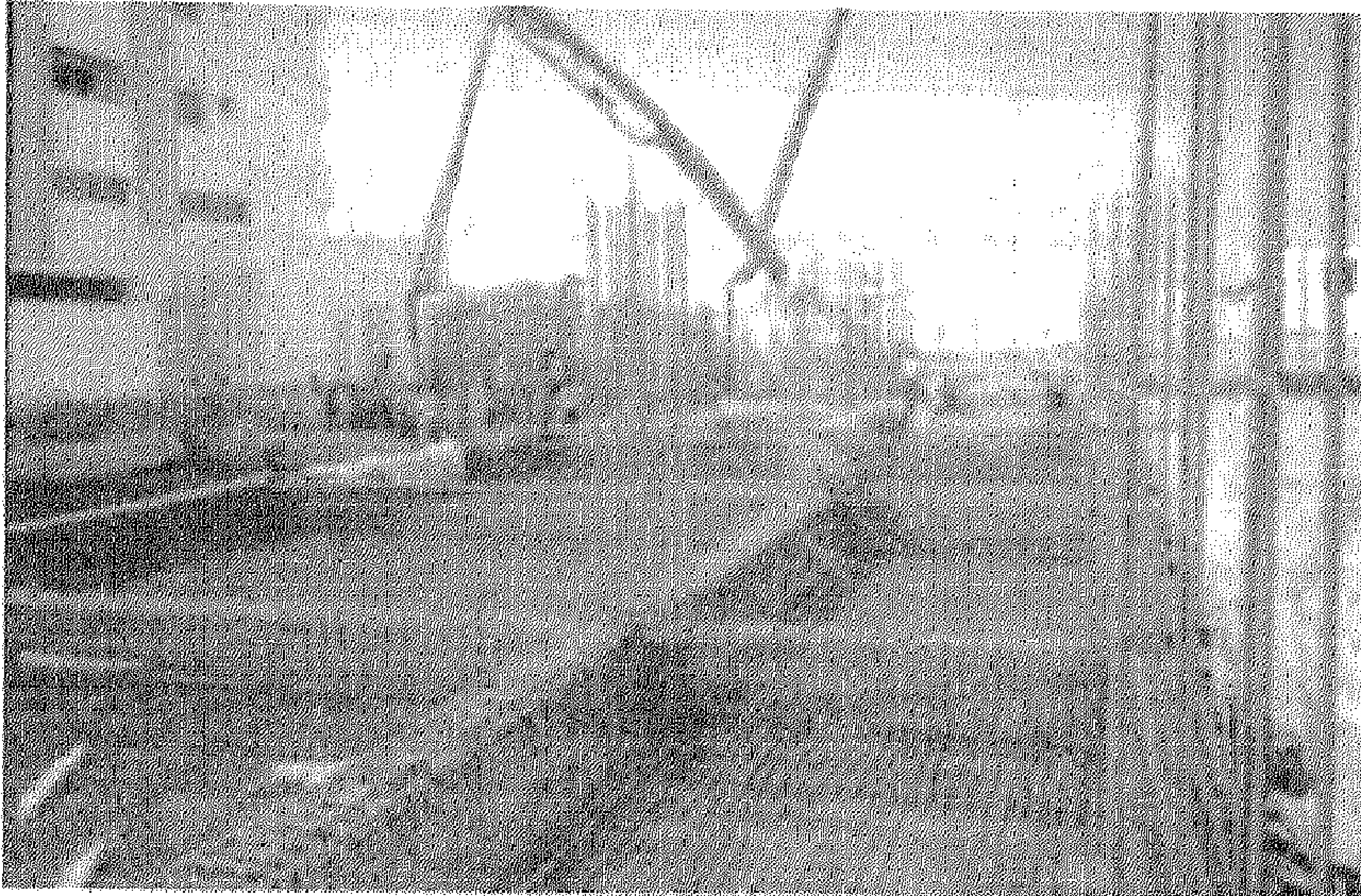
(٨,٣) توصيات لتنفيذ أساسات الحصيرة
(انظر الأشكال أرقام ٨,٣ - ٨,٥)
Recommendations for Construction of Raft Foundations

١- يمكن تنفيذ حصيرة بطول يزيد عن 35m بدون فواصل، أما في حالة كون الأحمال مختلفة جدًا بين أجزاء (كتل) المبنى فيمكن استخدام فواصل هبوط.

٢- يفضل صب الحصيرة دفعة واحدة لتجنب فواصل الصب التي تقلل من مقاومة الخرسانة على القص، ويفضل البدء من أحد زوايا الحصيرة والانتهاء بالزاوية المجاورة.



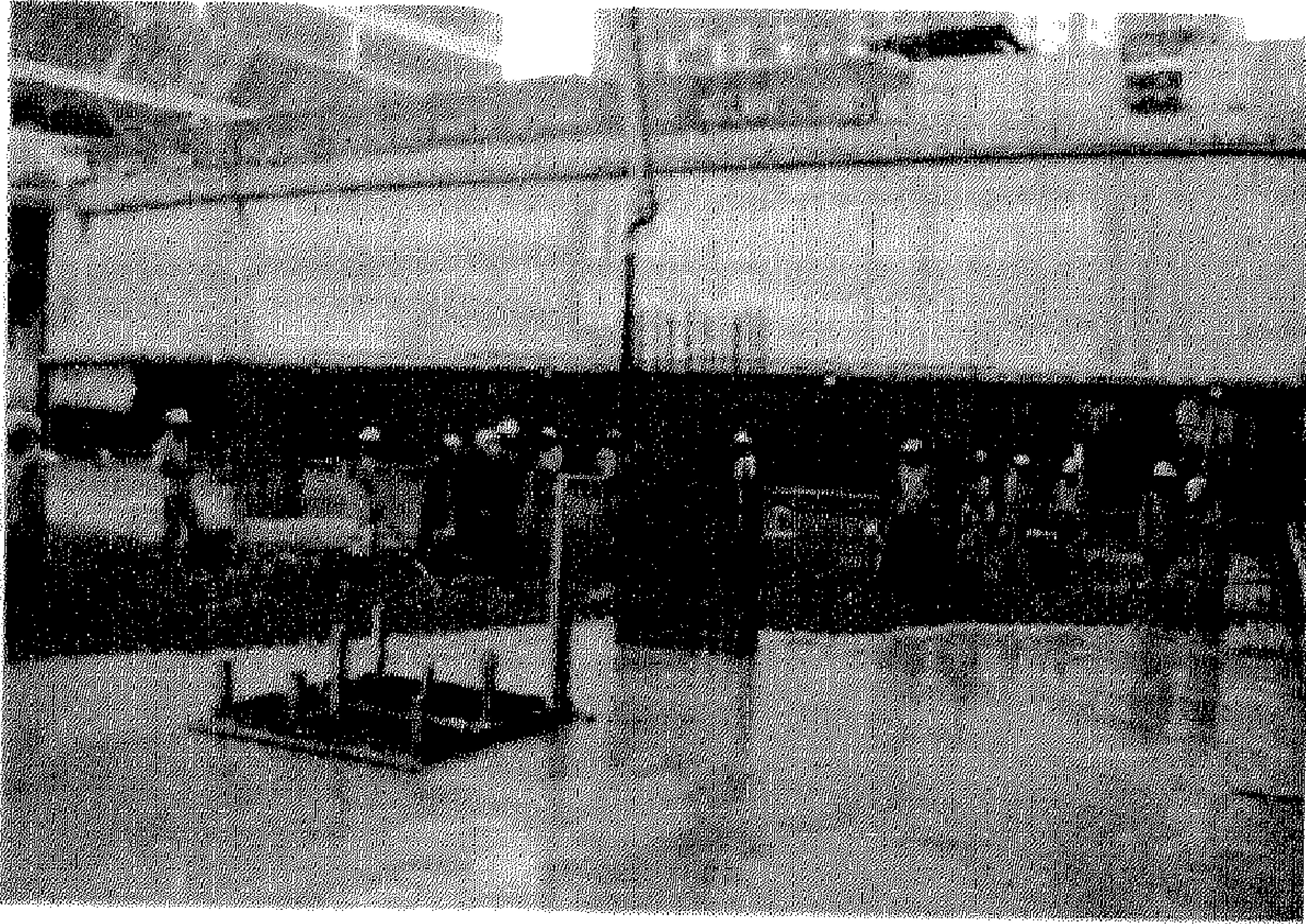
الشكل رقم (٨,٣). أعمال تسليح حصيرة (نوع بلاطة منبسطة).



الشكل رقم (٨,٤). أعمال تسليح حصيرة (نوع جسور مقلوبة).

٣- تتطلب الحصيرة كمية كبيرة من التسليح (علوي وسفلي) بالاتجاهين ويجب وضع أشاير الأعمدة والجدران المسلحة قبل صب الحصيرة.

٤- كلما زادت سماكة الحصيرة ازداد احتمال تعرض الخرسانة لتشققات نتيجة التقلص لذلك يجب إجراء احتياطات بضبط تبخر الماء من الخرسانة مثل غمر سطح الحصيرة بالماء لفترة كافية.



الشكل رقم (٨,٥). أعمال صب الخرسانة في حصيرة (بلاطة منبسطة).

(٨,٤) توصيات لتنفيذ أساسات الأوتاد

(انظر الشكلين رقمي ٨,٦ و٨,٧)

Recommendations for Piling Works

١- يمكن تنفيذ الأوتاد من الخرسانة بالصب بالمكان بواسطة آليات خاصة، حيث يتم حفر الخازوق أولاً، ومن ثم يوضع قفص التسليح باستخدام رافعة، ومن ثم تصب الخرسانة بتنزيل خرطوم المضخة إلى عمق مناسب ضمن الخازوق.



الشكل رقم (٨,٦). حفر التربة لكشف رؤوس الأوتاد.



الشكل رقم (٨,٧). تكسير رؤوس الأوتاد.

٢- يتم التأكد من جودة خرسانة الأوتاد قبل صب قبعات الخوازيق والانتقال إلى مراحل الإنشاء اللاحقة بإجراء اختبار تكامل الخوازيق Pile Integrity Test الذي يهدف إلى التأكد من عدم وجود اختناقات وتضيقات في الخرسانة عبر طول الوتد، ويعتمد هذا الاختبار على تقنية الأمواج الصوتية Ultra-sonic.

٣- يتم أيضا إجراء تجربة التحمل على عدة أوتاد، وذلك بتطبيق حمل يعادل 1.5 من قيمة حمل الوتد المسموح ومقارنة هبوط الوتد الأعظمي مع الهبوط المسموح.

٤- لكي يتم ترابط (تشريك) حديد الوتد مع حديد القبعة يجب تكسير 1m أو أكثر من نهاية الوتد (رأس الوتد) وفي حال كون الحديد المكشوف بطول غير كاف يجب زرع حديد جديد في رأس الوتد باستخدام مواد تؤمن تماسكًا جيدًا.

الملاحق
APPENDIX

الملحق A1: تحويل العزم المؤثر على الأساس إلى ازدواج قوى ضغط وشد

عند وجود عزم مؤثر من قبل عمود على أساس منفرد أو مشترك أو حصيرة يفضل عدم تأثيره كعزم مركز في العقدة الوسطية لمسقط العمود بل توزيعه على عدة عقد، وذلك بمكافأته بازدواج من قوى ضغط وشد، حيث إن حمل هذا العمود الرأسي يمثل بمساحة تعادل مساحة العمود مضافًا لها d/2 (d الارتفاع الفعال للأساس) من جميع أطراف مسقط العمود فيمكن اعتبار تقسيط العزم على صفوف العقد باتجاه العزم بشكل متساو، ومن ثم حساب ازدواج القوى في كل محور - (انظر الشكل رقم ١,م) - وفق الإجراء التالي:

$$R_i = q(N-i)/N \qquad \text{(a.1)}$$

$$q = \frac{M}{L\sum_{i=0}^{i=N-1}\left(\frac{N-i}{N}\right)^2} \qquad \text{(a.2)}$$

$$N = (n+1)/2 - 1 \qquad \text{(a.3)}$$

$$L=(n-1)d \quad (a.4)$$

حيث إن

n عدد العقد (في حال كون عدد العقد فرديًا يؤخذ كما هو، وفي حال كونه زوجيًا يكون n مساويًا لعدد العقد + 1).

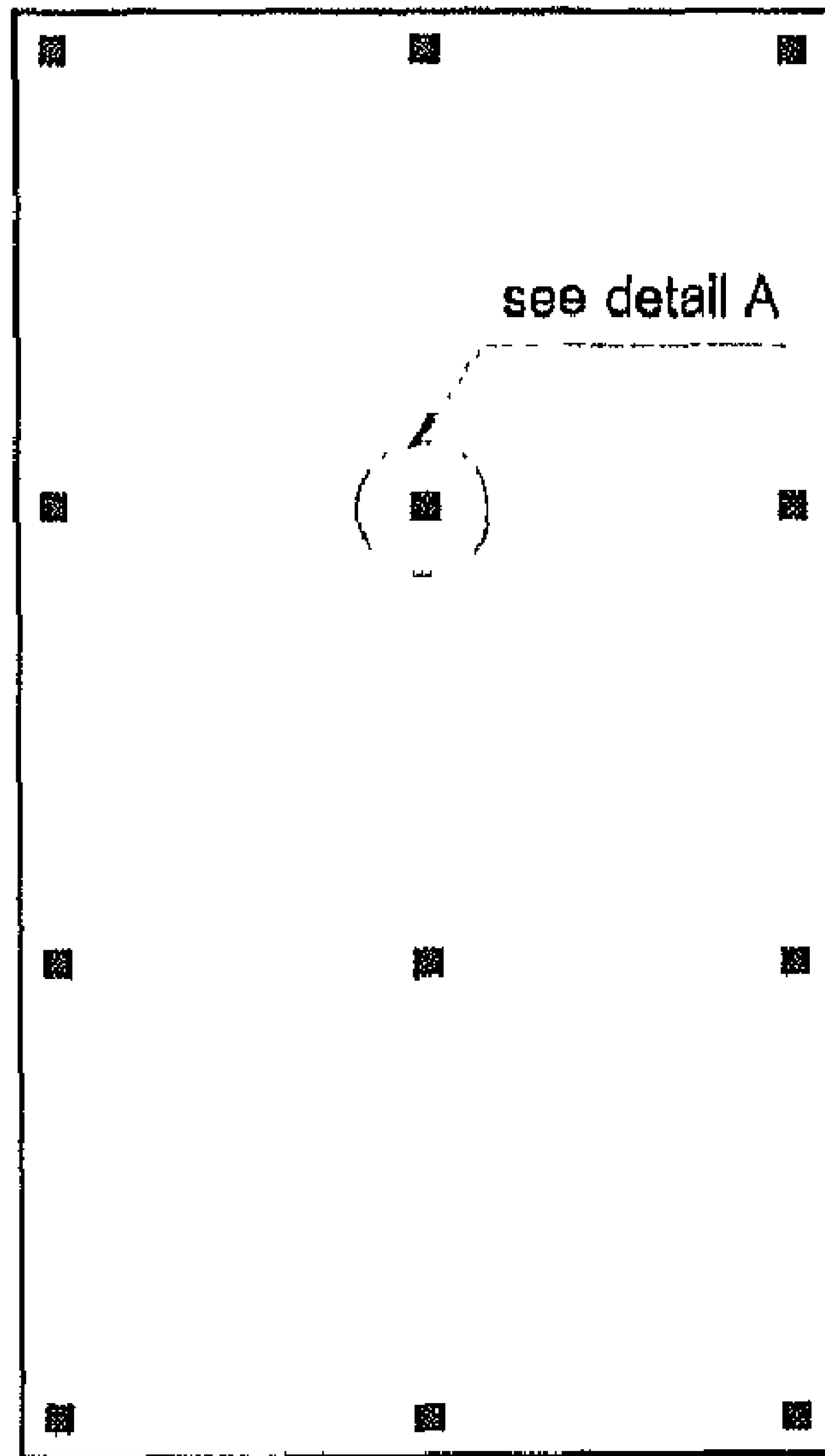
d المسافة بين العقد.

M العزم المؤثر المراد مكافأته بمزدوجة قوى بعد تقسيطه إلى المحاور باتجاه العزم

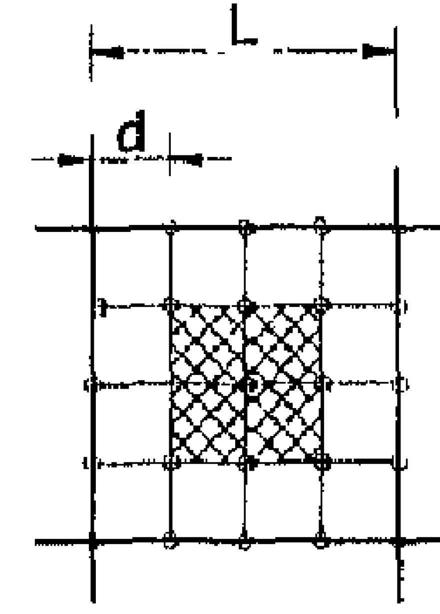
R_i القوة الضاغطة أو الشادة.

i دالة القوى وتتراوح بين 0 و N-1.

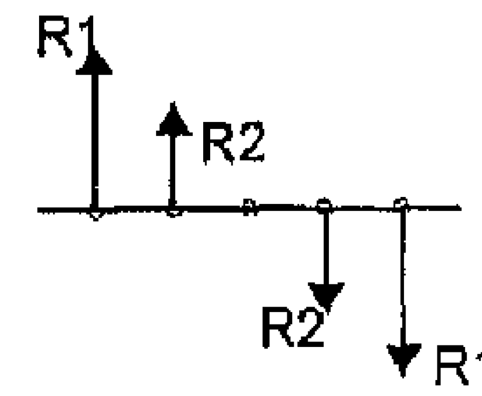
L الطول الكلي لذراع المزدوجة.



(a) Plan of raft foundation



(b) Detail A



(c) Torque forces at one row

الشكل رقم (١,م). تحويل العزم المؤثر إلى ازدواج قوى ضغط وشد: (a) مسقط أساس الحصيرة، (b) التفصيلة A، (c) ازدواج القوى في أحد صفوف العقد.

مثال تطبيقي

يطلب توزيع العزم M=250 KN.m إلى العقد في الشكل رقم (١,م b) علما أن تباعد العقد d= 0.25 m.

الحل :

العزم في كل صف عقد

M=250/5= 5 KN.m

L=(5-1) × 0.25=1 m

N=(5+1)/2-1=2

يتم تشكيل الجدول رقم (١,م) لحساب q

الجدول رقم (١,م). تبسيط حساب q.

i	N-i	$[(N-i)/N]^2$
0	2	1
1	1	0.25
Σ=		1.25

q=50/(1×1.25)=40 KN

يتم الآن حساب ازدواج القوى

i=0 → R1 = 40 × (2-0)/2=40 KN

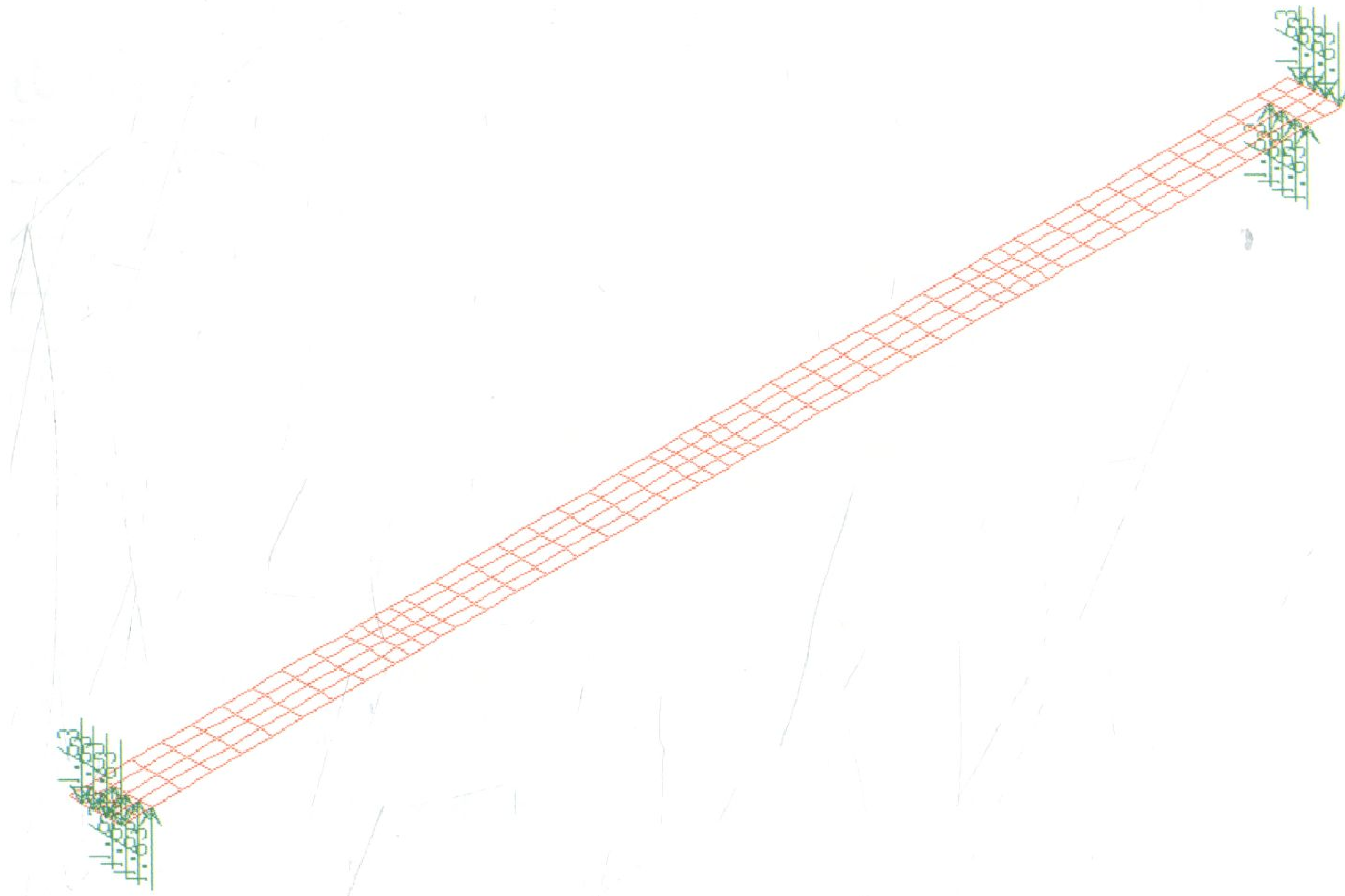
i=1 → R2 = 40 × (2-1)/2=20 KN

المثال (٣,٦)، (انظر الفصل الثالث)

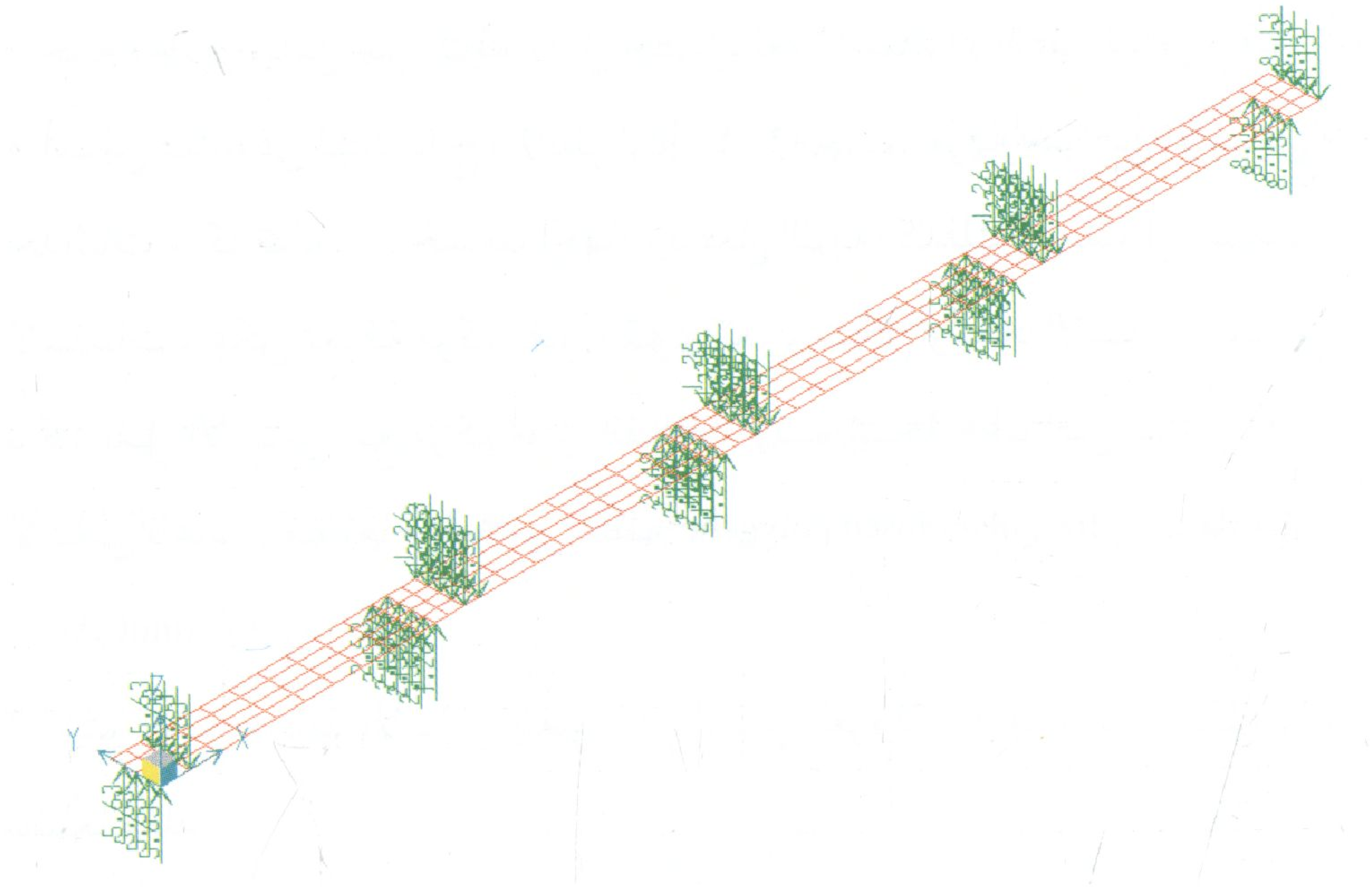
يتم بنفس الطريقة تطبيق المعادلات أعلاه لتوزيع العزوم حسب حالات التحميل Comb1, Comb2 فنحصل على قيم القوى وفق الجدول رقم (٢,م) مع العلم أن تباعد العقد d = 0.3 m، (انظر الشكلين رقمي ٢,م و٣,م).

الجدول رقم (٢,م). حساب قيم القوى الضاغطة والشادة (المكافئة للعزوم) في المثال (٣,٦).

	Comb1		**Comb2**		
Col. No.	**My** (KN.m)	**|R1|** KN	**My** (KN.m)	**|R1|(×5)** KN	**|R2|(×5)** KN
C1	-39	16.25×4	135	56.25×4	-
C2	-		190	25.34×5	12.6×5
C3	-		187	24.94×5	12.47×5
C4	-		189	25.2×5	12.6×5
C5	39	16.25×4	195	81.25×4	-



الشكل رقم (٢,م). مخطط توزيع القوى للحالة Comb1، (×10, KN).



الشكل رقم (٣,م). مخطط توزيع القوى للحالة Comb2، (×10, KN).

الملحق A2: إيجاد الخواص الهندسية لأساس غير منتظم

في حالة وجود أساس غير منتظم (مثل حصيرة لعدة أعمدة)، (انظر الشكل رقم ٥,٥) أو أساس صندوقي لبيت درج، (انظر المثال ٣,٤) يجب معرفة خواص الأساس مثل إحداثيات مركز ثقله، ... لحساب إجهاد رد فعل التربة. كذلك في مسائل تصميم هذه الأساسات، يمكن بمعرفة مركز ثقل القوى تغيير شكل وأبعاد الأساس حتى ينطبق مركز ثقل الأساس مع مركز ثقل القوى، ويتم إيجاد الخواص الهندسية لمسقط الأساس باعتباره مضلعًا مغلقًا غير منتظم Irregular closed polygene باستخدام برنامج الـ AutoCAD وفق ما يلي:

١- يتم رسم مسقط الأساس بتعليمات الرسم المعروفة، ويجب أن يتشكل بالنتيجة مضلعا مغلقًا.

٢- يتم تعريف قطاع Region باستخدام التعليمة:

region→Select objects

٣- يتم معرفة الخواص الهندسية للشكل من خلال تعليمة:

Massprop→Select objects

٤- يظهر لدينا النافذة التي تحوي الخواص الهندسية للمضلع مثل، (انظر الشكل رقم ٤,م):

- مساحة المضلع Area.
- الإحداثيات x, y لمركز ثقل المضلع Centroid.
- عزم القصور الذاتي للمضلع حول المحاور الإحداثية العامة Moment of Inertia, I_x, I_y.
- جداء القصور الذاتي للمضلع Product of inertia I_{xy}.

يجب ملاحظة أنه من الأفضل استخدام وحدات في رسم المضلع مماثلة لوحدة النتيجة المطلوبة أو من مضاعفاتها، فمثلاً إذا كان المطلوب المساحة بالمتر المربع يفضل أن تكون وحدة الرسم على الشاشة تعادل (1.0 m) أو (1.0 cm).

الخواص الهندسية للأساس بالنسبة لمحاور تمر بمركز ثقله

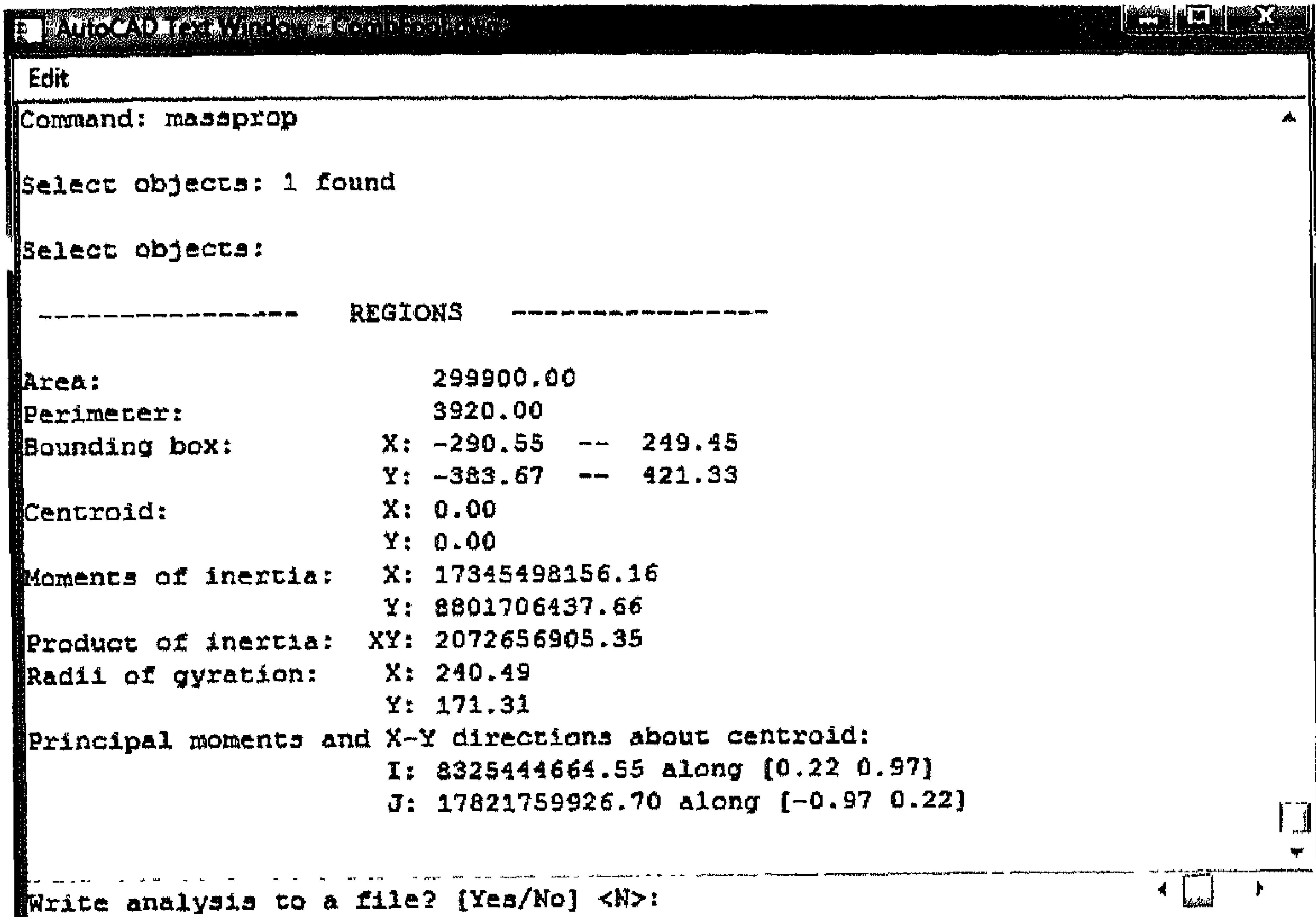
في حالة الرغبة بمعرفة الخواص الهندسية للمضلع مثل عزم القصور الذاتي وجداء القصور الذاتي بالنسبة لمحاور تمر بمركز ثقله، يجب نقل مركز الإحداثيات إلى مركز ثقل المضلع باستخدام:

UCS→Enter an option [M] →Specify new origin

الخواص الهندسية للمضلع المفرغ

في حال كون الأساس يحوي جزءا داخليا مفرغا، (انظر المثال ٣,٤)، في هذه الحالة يجب تعريف عدة قطاعات Regions قطاع للحدود الخارجية Region1 وقطاع أو أكثر للحدود الداخلية ... ,Region2 في حال وجود عدة فراغات، ويتم استخدام التعليمة التالية للحصول على المضلع المفرغ:

Subtract→Select objects [region1] → Select objects [region2, region3, ..]



الشكل رقم (٤,م). الخواص الهندسية لمضلع مستوي Mass properties of polygene (الوحدة cm).

الملحق A3: حسابات قوة القص وعزم الانحناء في قاعدة مشتركة بشكل شبه منحرف – المثال (٤,٢)

بالعودة إلى المثال (٤,٢) والشكل رقم (٤,١١) وباعتبار معادلة رد فعل التربة تحت الأساس يمكن استنتاج معادلة قوة القص وفق ما يلي :

$$q_u=1251-107.9x$$

$$V_u=\int_0^x q_u\,dx$$

$$V_u=1251\,x-107.9x^2/2+C$$

$$x=0.225\text{ m},\ C=0 \rightarrow$$

$$V_u=1251(0.225)-(107.9\times0.225^2/2)=276\text{ KN}$$

$$x=0.225+dx,\ C=-3067 \rightarrow$$

$$V_u=1251(0.225)-(107.9\times0.225^2/2)-3067=-2788\text{ KN}$$

$$x=0.225+5.48=5.705,\ C=-306.7 \rightarrow$$

$$V_u=1251(5.705)-(107.9\times5.705^2/2)-3067=2314\text{ KN}$$

$$x=5.705+dx,\ C=-3067-2382=-5449 \rightarrow$$

$$V_u=1251(5.705)-(107.9\times5.705^2/2)-5449=-68\ KN$$

وبذلك تم الحصول على نقاط كافية لرسم مخطط القص، وهو منحني من الدرجة الثانية، ويبقى تحديد موقع القص الصفري أي قيمة x التي من أجلها $V_u=0$ لأنه هو نفسه موقع العزم الأعظمي M_{max}.

$$V_u=1251x-(107.9\times x^2/2)-3067=0 \rightarrow$$

$$x=2.8\ m$$

كذلك يمكن استنتاج معادلة عزم الانحناء وفق ما يلي:

$$M_u=\int_0^x V_u\,dx$$

$$M_u=1251x^2/2-107.9x^3/6+C1x''$$

حيث إن "x البعد بالاتجاه x عن القوة المركزة (العمود الأول)

$$x=0.225\ m,\ x''=0$$

$$M_u=1251\times0.225^2/2-107.9\times0.225^3/6=31.5\ KN.m$$

$$x=0.45\ m,\ x''=0.225$$

$$M_u=1251\times0.45^2/2-107.9\times0.45^3/6-3067\times0.225=-565\ KN.m$$

$$x=5.48\ m,\ x''=5.48-0.225=5.255$$

$$M_u=1251\times5.48^2/2-107.9\times5.48^3/6-3067\times5.255=-293\ KN.m$$

بالنسبة للعزم الأعظمي فيكون في الموقع x=2.8 m (موقع القص الصفري) :

$$x=2.8\ m,\ x''=2.8-0.225=2.575$$

$$M_{max}=1251\times2.8^2/2-107.9\times2.8^3/6-3067\times2.575=-3388\ KN.m$$

وبذلك يتم الحصول على نقاط كافية لرسم مخطط عزم الانحناء، وهو منحني من الدرجة الثالثة.

الملحق A4: تحويل العزم المؤثر على الأساس إلى ازدواج قوى ضغط وشد (حالة حصيرة دائرية المثال ٤,٥)

عند وجود عزم مؤثر من قبل عمود دائري أو نواة Core على حصيرة دائرية أو مثمنة يمكن توزيعه على عدة عقد على محيط الدائرة، وذلك بمكافأته بازدواج قوى ضغط وشد. بالعودة للمثال (٤,٥) فإنه يمكن توزيع العزم M_E على عقد الرقبة الدائرية (عدد ٢٠ عقدة) وذلك بحسب المسافة (طول الوتر) بين العقدتين المتناظرتين طبقًا للمعادلات التالية :

$$A1\times P1+A2P2+A3P3+A4P4+A5P5=ME/2 \quad (a.5)$$

$$P5=(A5/A1)\ P1=(0.711/2.3)\ P1 \quad (a.6)$$

$$P4=(A4/A1)\ P1=(1.352/2.3)\ P1 \quad (a.7)$$

$$P3=(A3/A1)\ P1=(1.861/2.3)\ P1 \quad (a.8)$$

$$P2=(A2/A1)\ P1=(2.187/2.3)\ P1 \quad (a.9)$$

حيث إن :

A طول الوتر الموافق.

P قيمة القوة في العقدة الموافقة.

بتعويض قيم P2-5 في المعادلات (a.9- a.6) بقيمها في المعادلة (a.5) نجد أن :

$$2.3\ P1+2.08\ P1 + 1.506\ P1+0.795 + 0.219\ P1 = 135.5/2$$

$$P1 = 677.5/6.901 = 98.17\ KN$$

$$P2 = (2.187/2.3) \times 98.17 = 93.4\ KN$$

$$P3 = (1.861/2.3) \times 98.17 = 79.5\ KN$$

$$P4 = (1.352/2.3) \times 98.17 = 57.7\ KN$$

$$P5 = (0.711/2.3) \times 98.17 = 30\ ton$$

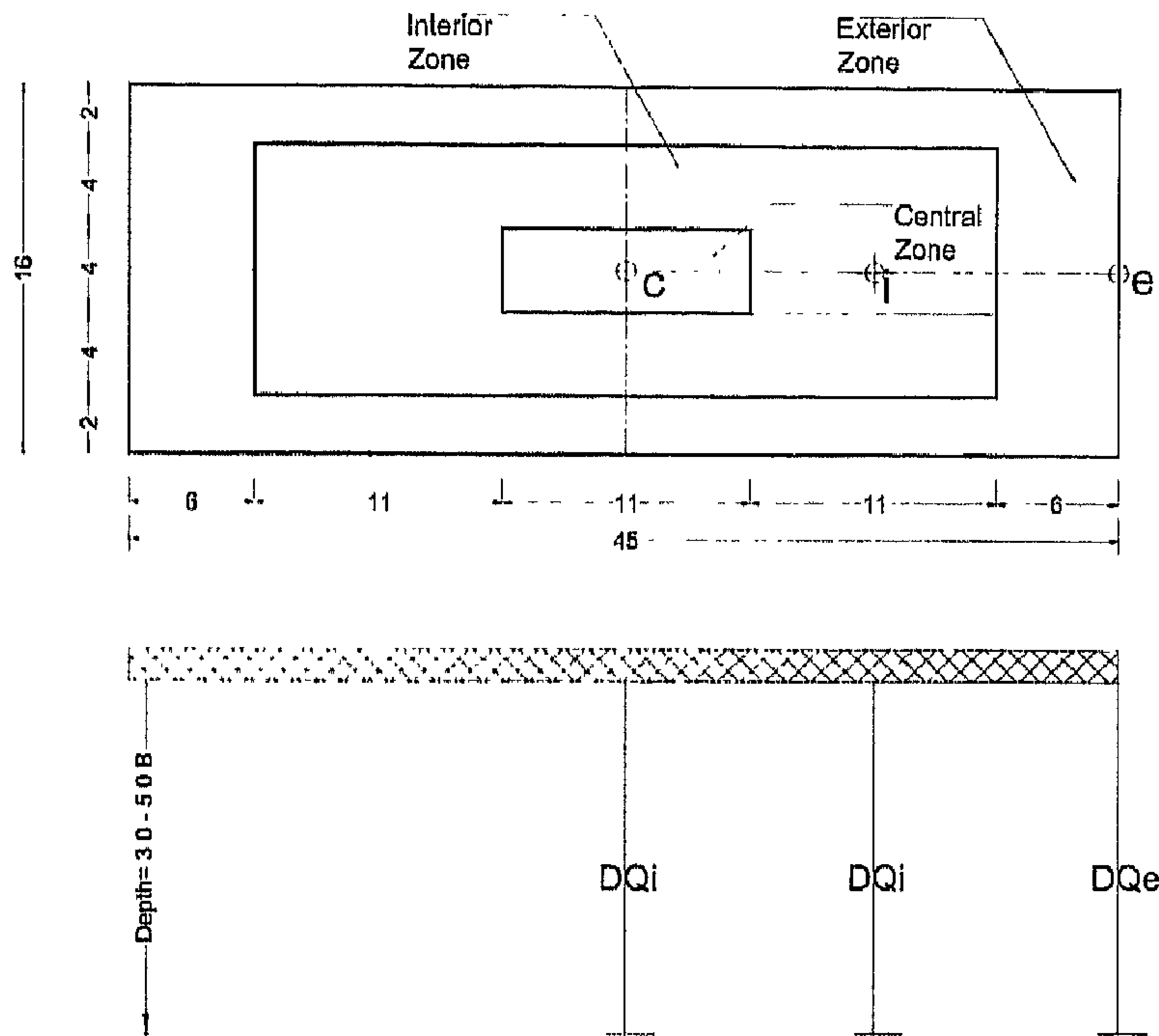
وعلى اعتبار أن العقدة 1 مشتركة بين نصفي الدائرة فتكون مضاعفة :

$$2P1 = 2 \times 98.17 = 196.34\ KN$$

القيم السابقة مرتبة في الجدول رقم (٥,١١).

الملحق A5: مثال تطبيقي لحساب صلابات النوابض المختلفة في قطاعات حصيرة

باعتبار الحصيرة المبينة في الشكل رقم (٥,م) بطول L=45 m وعرض B=15 m يطلب تقسيم الحصيرة إلى ثلاثة قطاعات (خارجي وداخلي ومركزي) وحساب صلابات النوابض في هذه القطاعات، علمًا أن معامل رد فعل التربة : K_s=12000 KN/m^3.



الشكل (٥,م). مسقط الحصيرة مع مقطع رأسي.

١- أبعاد القطاعات

القطاع الخارجي e

L/8=45/8=5.6 (6.0 m), B/8 = 16/8 = 1.875 (2.0 m)

القطاع الخارجي i

$$L/8=45/4=11.25\ (11\ m),\ B/4 = 16/4 = 4\ m$$

القطاع الخارجي c

$$L/8=45/4=11.25\ (11\ m),\ B/4 = 16/4 = 4\ m$$

٢- قيم صلابات النوابض

بتطبيق المعادلة (5.15) والحصول على قيم DQi, DQe من الجدول رقم (١,٦)، (ACI-336.2R88, 2002) باعتبار L/B= 45/16=3 :

القطاع الخارجي c

$$K_{sc}=K_s=12000\ KN/m^3$$

القطاع الداخلي i

$$DQ_e=0.23,\ DQ_i=0.359$$

$$K_{si}=0.23/0.359\times12000=7688\ KN/m^3$$

القطاع المركزي c

$$DQ_e=0.23,\ DQ_i=0.34$$

$$K_{sc}=0.23/0.34\times12000=8118\ KN/m^3$$

ملاحظة

تم تدوير أبعاد القطاعات لتسهيل إدخال قيم الأطوال أثناء نمذجة الحصيرة باستخدام برامج الحاسب الآلي.

الملحق A6: اشتراطات عامة للحصائر حسب الكود السوري لتصميم منشآت الخرسانة المسلحة، ٢٠٠٣م (الكود السوري، ٢٠٠٣م)

لتحقيق جساءة كافية في الحصائر يجب تحقيق ما يلي :

١- في الجزء البارز (الكابولي) من بلاطة الحصيرة يجب ألا يقل عمق البلاطة عن نصف مقدار البروز عن العمود أو الجسر.

٢- في الجزء البارز (الكابولي) من كمرة الحصيرة (مثل الحصيرة ذات الجسور المقلوبة) يجب ألا يقل عمق الكمرة عن مقدار البروز عن وجه العمود.

٣- لا تزيد نسبة البحر إلى العمق في كمرات الحصيرة عن 4 للكمرات البسيطة (بحر واحد)، و عن 5 للكمرات المستمرة.

٤- لا تزيد نسبة البحر إلى السمك في بلاطات الحصيرة المستندة على كامل محيطها عن 8 للبلاطات ذات الاتجاه الواحد، و عن 10 للبلاطات ذات الاتجاهين.

الملحق B1: مبادئ عامة معتمدة في نمذجة المسائل في الأمثلة (مدخلات ومخرجات)

١- يحسب عزم الانحناء الموجب الأقصى (تسليح سفلي) عند وجه العمود، وليس في مركز العمود في البلاطات والكمرات.

٢- يحسب عزم الانحناء السالب الأقصى (تسليح علوي) ضمن البحر Span في البلاطات والكمرات.

٣- تحسب قوة القص القصوى على بعد d من وجه العمود في الكمرات.

٤- البرنامج SAP: يتم توزيع حمل العمود على مساحة ذات بعدين يزيد كل منهما عن بعد العمود بالاتجاهين بمسافة d حيث d الارتفاع الفعال، (انظر الفقرة ٥,٤) أما العزم فيحول إلى ازدواج قوى ضغط وشد حسب الملحق A1 أو A3.

٥- البرنامج SAFE: يتم إدخال قيمة الحمل (قوة أو عزم) باعتباره مركزا بنقطة تمثل مركز العمود مع إدخال مساحة الحمل التي تعرف ببعدي العمود.

٦- حالات تركيب الأحمال للتصميم بطريقة المقاومة القصوى Ultimate strength حسب الكود الأمريكي ACI 318-08

U1: 1.4 (D+F)

U2: 1.2 (D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(L_r or S or R)

U3: 1.2D+1.6(Lr or S or R)+(1.0 L or 0.8 W)

U4: 1.2D+1.6W+1.0L+0.5(L_r or S or R)

U5: 1.2D+1.0E+1.0L+0.2S

U6: 0.9D+1.6W+1.6H

U7: 0.9D+1.0E+1.6H

٧- حالات تركيب الأحمال للتصميم بطريقة إجهاد التشغيل Allowable stress design حسب الكود الأمريكي (IBC, 2006)

U1: D+F

U2: D+H+F+L+T

U3: D+H+F+(L_r or S or R)

U4: D+H+F+0.75(L+T)+0.75(L_r or S or R)

U5: D+H+F+(W or 0.7E)

U6: D+H+F+0.75(W or 0.7E)+0.75 L+0.75(L_r or S or R)

U7: 0.6D+W+H

U8: 0.6D+0.7E+H

حيث إن:

Dead Load D الأحمال الميتة.

Fluid Load F حمل ضغط الموائع.

Temperature Load T حمل التغير الحراري.

Live Load L الحمل الحي.

Live Load L_r الحمل الحي للسطح Roof.

Snow Load S حمل الثلج.

Rain Load R حمل المطر.

Wind Load W حمل الرياح.

Earthquake Load E حمل الزلازل.

Soil Load H حمل ضغط التربة.

٨- تم في أمثلة هذا الكتاب - حيث تطلب الأمر- استعمال المعاملات f1, f2 لتحويل تراكيب الأحمال القصوى إلى تراكيب أحمال تشغيلية بشكل تقريبي من أجل حساب مساحة الأساس وفق ما يلي (علما أنه يمكن لهذه المعاملات أن تأخذ القيم f1=1.3 or 1.35 وf2=1.0 أو أي قيمة أخرى حسب نص المسألة):

$$1.2D+1.6L = f1(D+L)$$

$$1.2D+1.0L+1.0E=f2(D+L+E)$$

٩- في حالة حساب إجهاد الضغط على التربة باعتبار تركيب أحمال تشغيلية يشمل حملا انتقاليا (زلازل، رياح)، فإنه يمكن مقارنة هذا الإجهاد مع تحمل التربة المسموح مضروبًا بمقدار f3 يحدده الدارس الجيوتكنيكي، وقد تم اعتباره في أمثلة هذا الكتاب – حيث تطلب الأمر بمقدار: f3=1.33 وذلك بهدف التحقق من عدم تجاوز تحمل التربة المسموح.

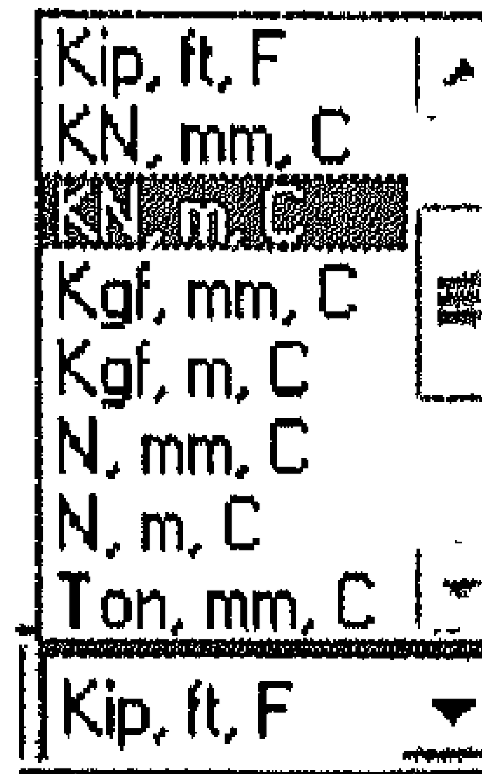
١٠- يتم حساب القص ثنائي الاتجاه وأحادي الاتجاه باستخدام المعادلات المعروفة والواردة في الفصول النظرية دون الاعتماد على نتائج برنامج SAFE بعد التصميم (Punching shear ratio results).

الملحق B2: المثال (٣,٦) إعداد النموذج التحليلي لأساس شريطي تحت صف أعمدة – خطوات تفصيلية

البرنامج المفضل استخدامه : SAP 2000.

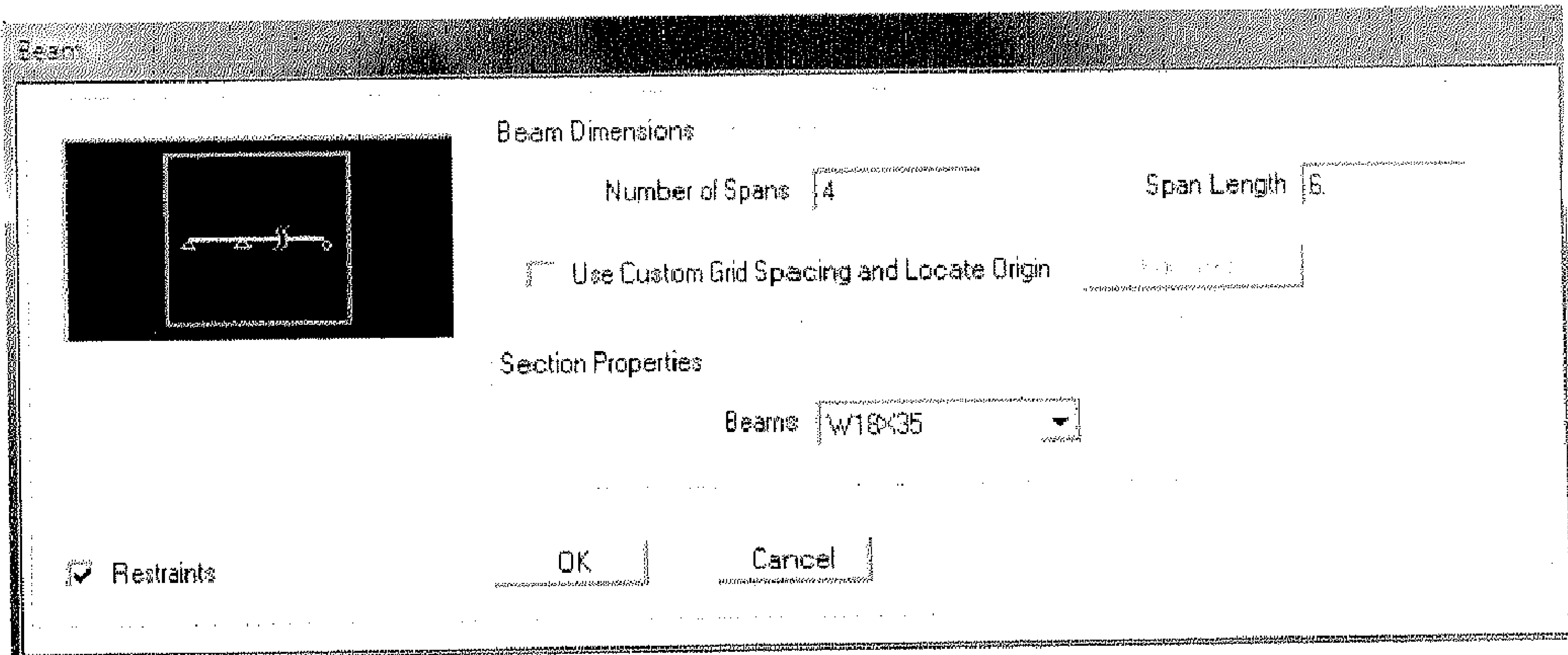
خطوات إعداد النموذج التحليلي M1

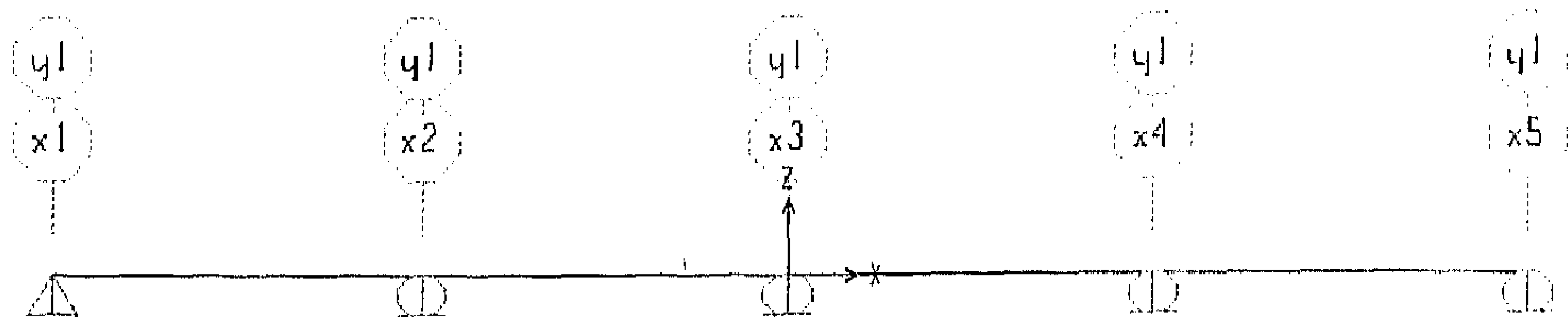
يتم اختيار الوحدات المستخدمة من الزاوية اليمنى السفلى للشاشة وهي (KN, m)



يتم اختيار عدد الفتحات 4 والمجاز 6 من الأمر التالي :

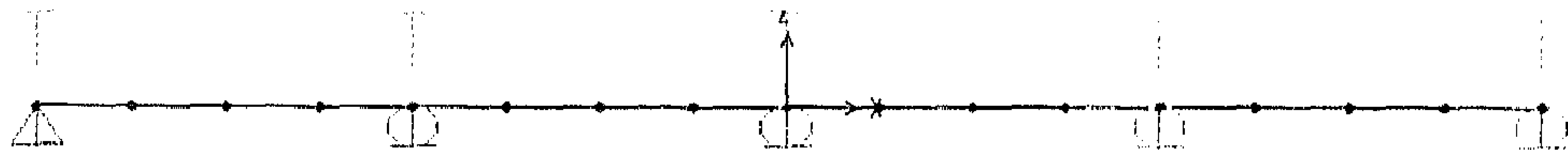
File→New Model→ Beam





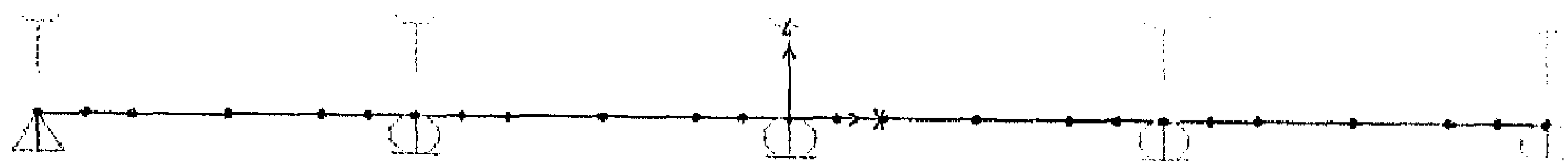
يتم تقطيع كل عنصر إطاري إلى أربع أقسام :

Edit → Divide Frames → 4/1



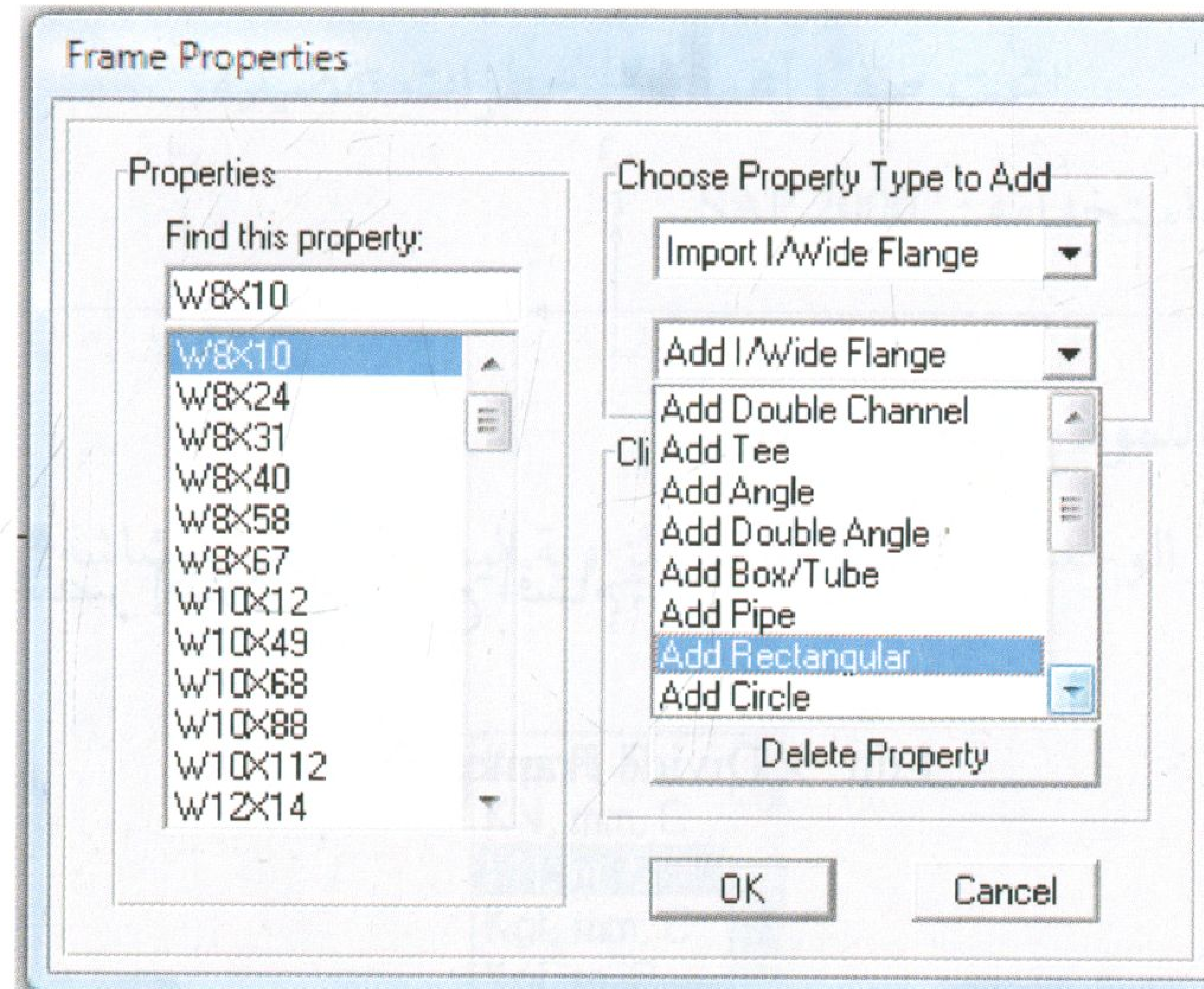
يتم اختيار عناصر الإطار بجوار كل مسند لتقطيع كل عنصر إلى عنصرين لتنعيم الشبكة Mesh refinement :

Edit → Divide Frames → 2/1



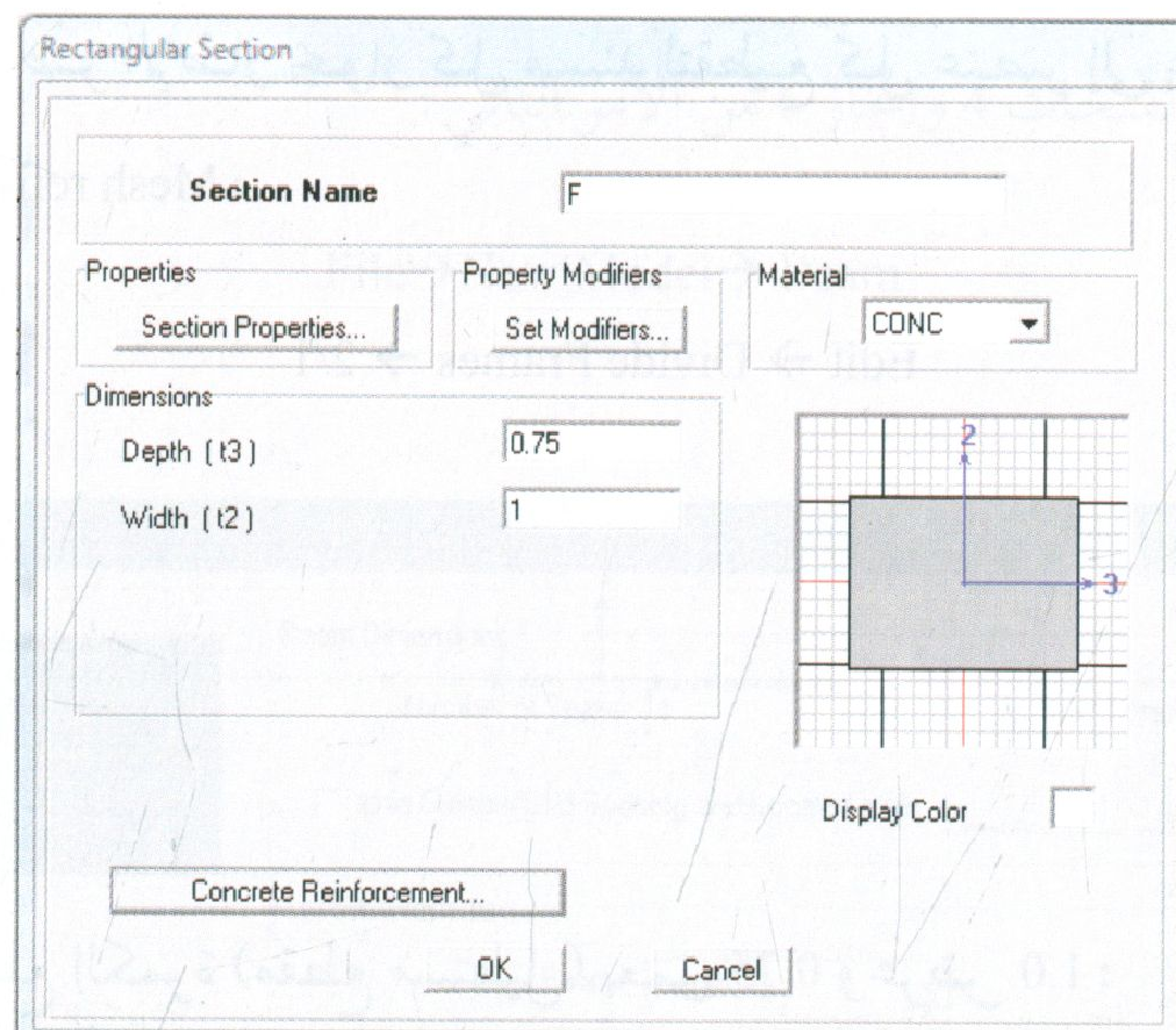
يتم تعريف مقطع الكمرة (مقطع مستطيل) بعمق 0.75 وعرض 1.0 :

Define→ Frame Sections→ Add new property



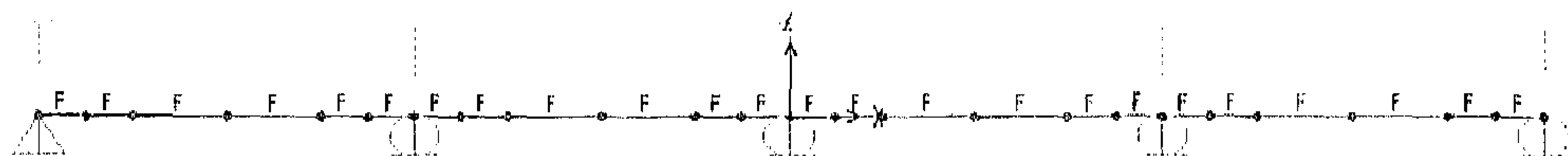
ملاحظة

يتم النقر على زر Concrete Reinforcement وتفعيل الخيار Beam



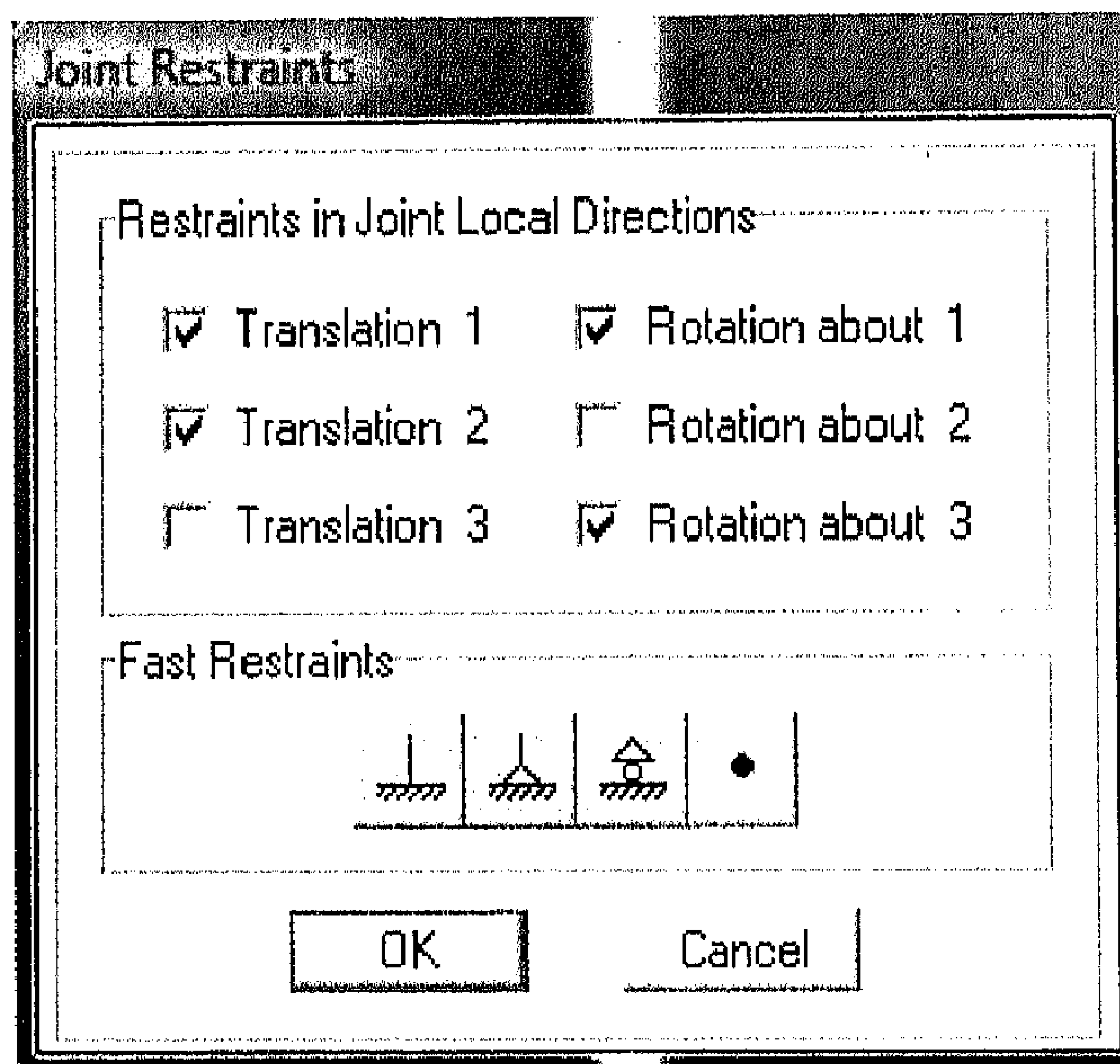
يتم اختيار كافة العناصر الإطارية بإحاطتها بنافذة عن طريق الماوس، ومن ثم تخصيص المقطع F لهذه العناصر:

Assign→Frame→ Frame Sections → F



يتم اختيار كافة عقد النموذج بإحاطتها بنافذة عن طريق الماوس، ومن ثم تحديد درجات الحرية المقيدة، أما درجات الحرية المتاحة فهي التي بجانبها مربع فارغ، في هذا المثال درجات الحرية المتاحة هي فقط (u3, r2) :

Assign→Joint → Restraints



يتم تعريف صلابة النوابض باستخدام Line Spring وذلك بتحديد الاتجاه (المحور الخاص 2) والقيمة مقدرة بـ KN/m^2 :

Assign→ Frame→ Line Springs

Assign Spring

Spring Direction

Direction	2

Line Spring Type

(•) Linear	Value 45600
( ) Multilinear Elastic	Modify/Show...
( ) Multilinear Plastic	Modify/Show...

Options

( ) Add to Existing Springs
(•) Replace Existing Springs
( ) Delete Existing Springs

OK　Cancel

يتم تعريف حالتي تراكيب الأحمال وفق ما يلي :

Comb1: 1.2D + 1.6 L

Comb2: 1.2D + 1.0 +1.0 E

Define Loads

Loads

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	
Comb1	OTHER	0	
Comb2	OTHER	0	

Click To:
Add New Load
Modify Load
Show Lateral Load
Delete Load
OK
Cancel

يتم إدخال أحمال كل عمود حسب حالات التحميل باعتبارها مركزة في النقطة التي تمثل موقع العمود، وذلك باختيار هذه النقطة، ومن ثم إدخال قيم الأحمال، فمثلاً أحمال العمود c1 باعتبار حالة التحميل Comb1

Joint Forces

Load Case Name: Comb1
Units: KN, m, C

Loads

Force Global X	0.
Force Global Y	0.
Force Global Z	-835.1
Moment about Global X	0.
Moment about Global Y	-39
Moment about Global Z	0.

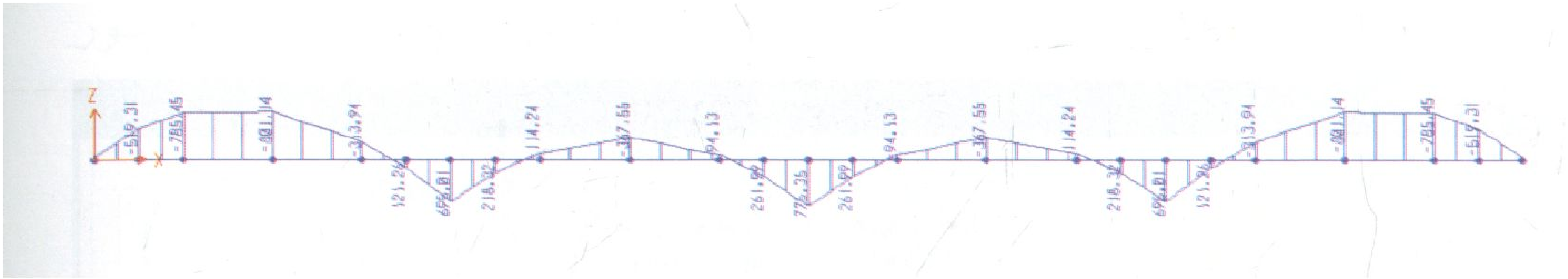
Coordinate System: GLOBAL

Options
Add to Existing Loads
Replace Existing Loads
Delete Existing Loads

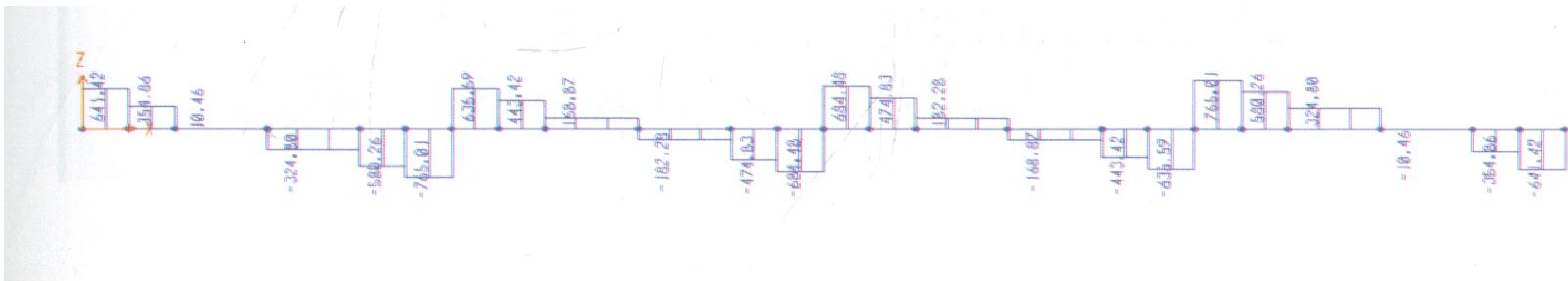
OK
Cancel

يتم الإجراء التحليلي الإنشائي للحصول على النتائج.

عزم الانحناء M33 للحالة Comb1



القص V22 للحالة Comb1

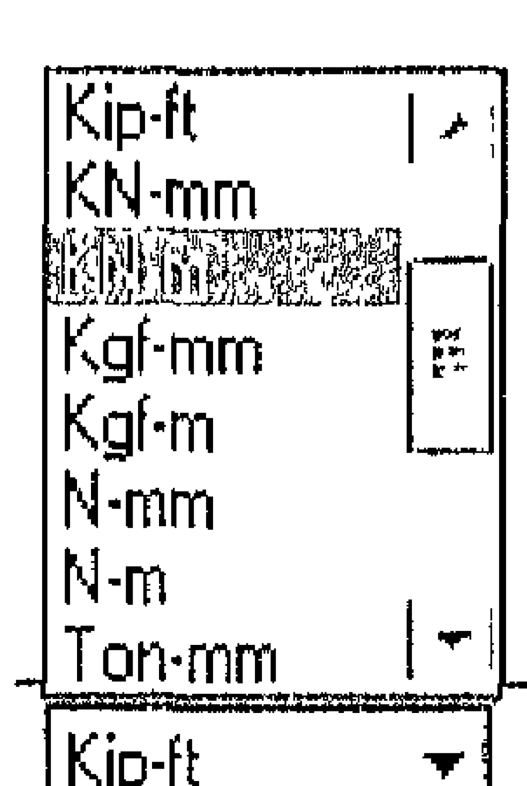


الملحق B3: المثال (٥,١) إعداد النموذج التحليلي لحصيرة بلاطة منبسطة – خطوات تفصيلية

البرنامج المفضل استخدامه : SAFE.

خطوات إعداد النموذج التحليلي M2

يتم اختيار الوحدات المستخدمة من الزاوية اليمنى السفلى للشاشة وهي (KN, m)



يتم تعريف حدود الحصيرة ومحاورها، وذلك بتحديد عدد خطوط الشبكة Grid lines والتباعد بينها Grid spacing باختيار قيمة تباعد منتظم مبدئيًا، وذلك من خلال الأمر

File→New Model

Grid Definition

Number of Grid Lines

X direction 3

Y direction 4

Grid Spacing

X direction 6.4

Y direction 7.6

Edit Grid...

OK Cancel

يتم الضغط على زر Edit Grid لتعديل إحداثيات خطوط الشبكة لتتناسب مع المسألة

Define Y Grid

Edit View

	Grid ID	Coordinate
1	1	0.
2	2	7.6
3	3	14.9
4	4	22.5
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Grid Line # 4

Grid Line #

Secondary Line

Visible

Color

Reset to Default Color

Display: X Grid Y Grid

Bubble Size 0.4

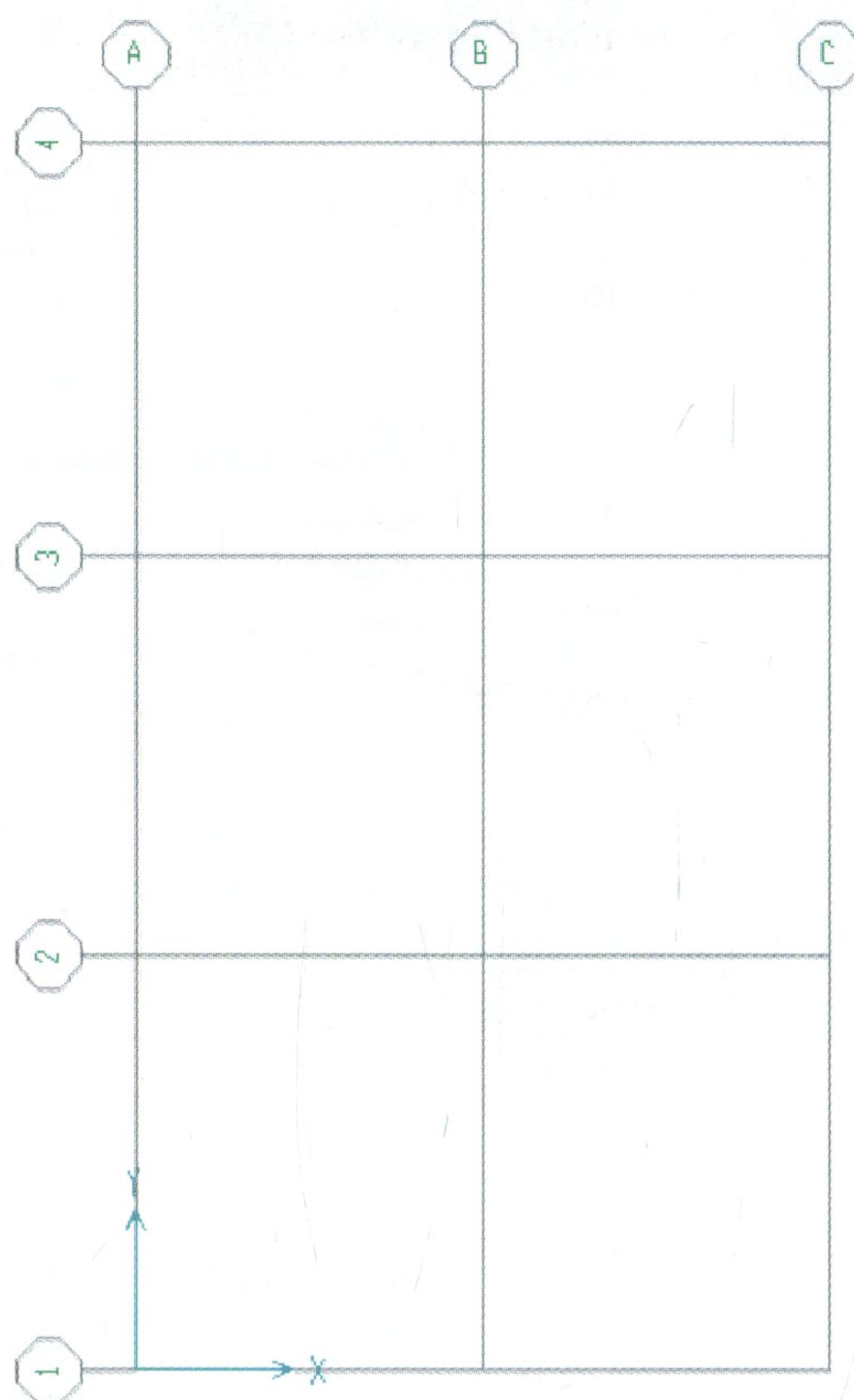
Display Grid as: Ordinates Spacing

OK

Datum Z 0

Cancel

فيتم الحصول على حدود ومحاور الحصيرة بشكل نهائي وفق ما يلي



يتم تعريف خطوط شبكة إضافية لتحديد أماكن الأعمدة الطرفية، أو أي أعمدة غير محددة ضمن تقسيمة الشبكة الحالية

Edit→Edit Grid

Define Y Grid

Edit View

	Grid ID	Coordinate
1	1	0.
2	2	7.6
3	3	14.9
4	4	22.5
5		0.3
6		22.2
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Display: X Grid, Y Grid

Display Grid as: Ordinates, Spacing

Datum: Z 0

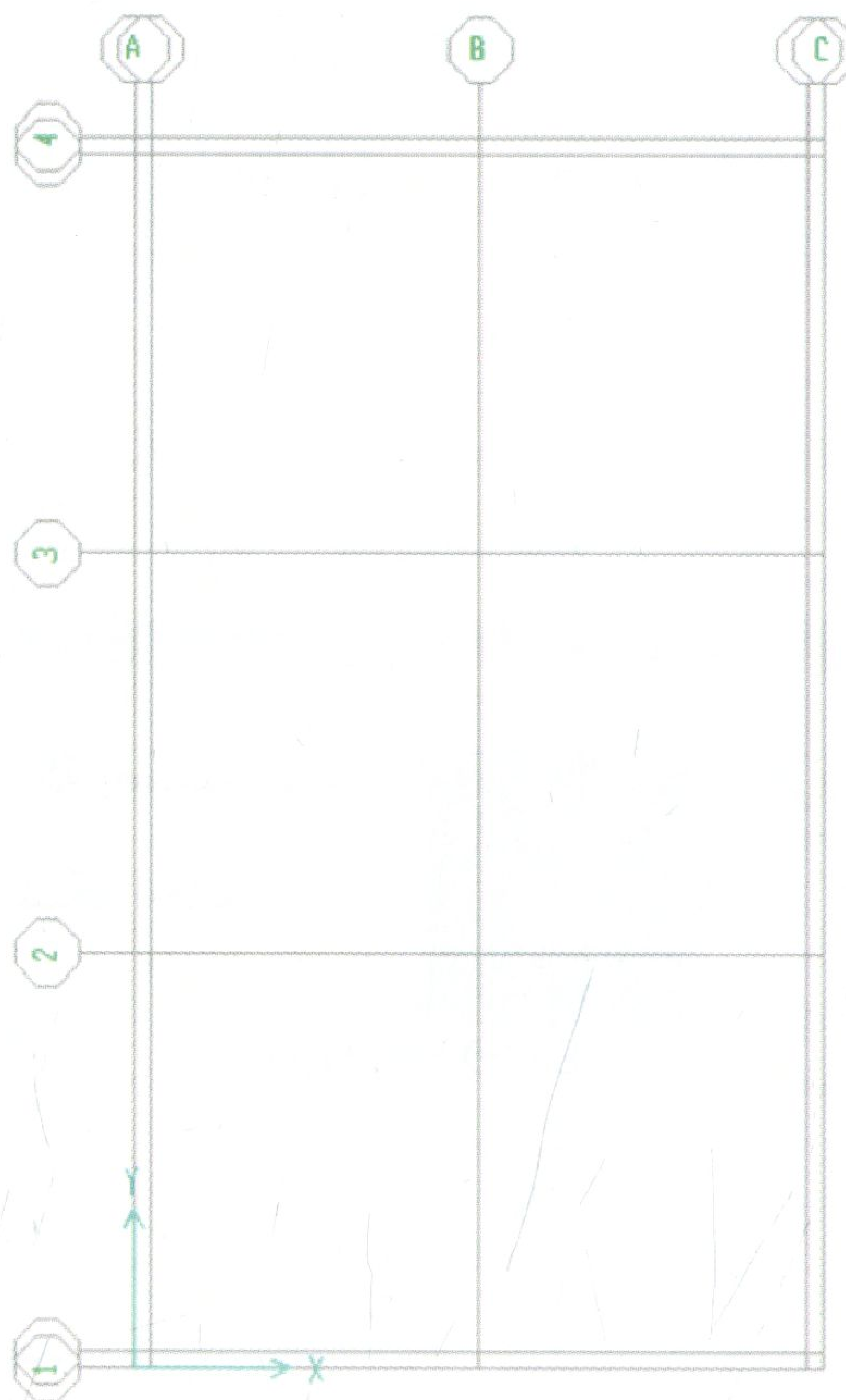
Grid Line # 6: Grid Line #, Secondary Line, Visible, Color

Reset to Default Color

Bubble Size 0.4

OK

Cancel



يتم تعريف العنصر الذي سيمثل الحصيرة باسم Raft وهو Slab نوع Mat ويتم تحديد خواص هذا العنصر

Defins→Slab Properties

بنفس الطريقة وبالضغط على زر Add new property يتم تعريف العنصر الذي سيمثل الأعمدة باسم Col وهو Slab نوع Column

Slab Property Data

Property Name: MAT

Analysis Property Data		Design Property Data	
Modulus of elasticity	25000000	X Cover Top (to Centroid)	0 04
Poisson's ratio	0 2	Y Cover Top (to Centroid)	0 02
Unit Weight	2 4	X Cover Bottom (to Centroid)	0 02
Type	Mat	Y Cover Bottom (to Centroid)	0 04
Thickness	0.8	Concrete Strength, fc	30000
		Reinforcing Yield stress, fy	414000

☐ No Design
☐ Lightweight
☑ Thick Plate
☐ Orthotropic
OK Cancel

Slab Property Data

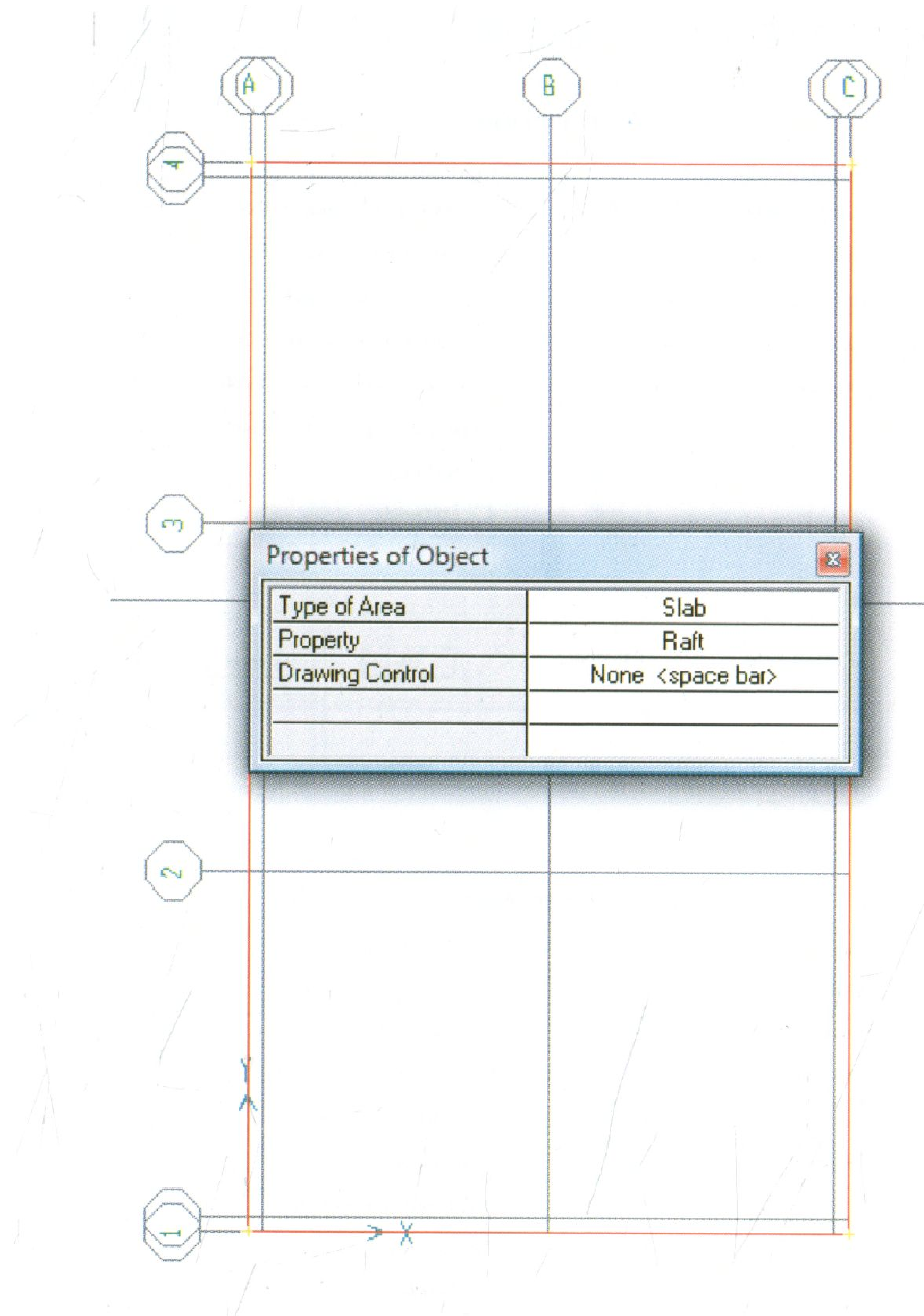
Property Name: Col

Analysis Property Data		Design Property Data	
Modulus of elasticity	25000000	X Cover Top (to Centroid)	
Poisson's ratio	0 2	Y Cover Top (to Centroid)	
Unit Weight	2 4	X Cover Bottom (to Centroid)	
Type	Column	Y Cover Bottom (to Centroid)	
Thickness	3	Concrete Strength, fc	
		Reinforcing Yield stress, fy	

☑ No Design
☐ Lightweight
☐ Thick Plate
☐ Orthotropic
OK Cancel

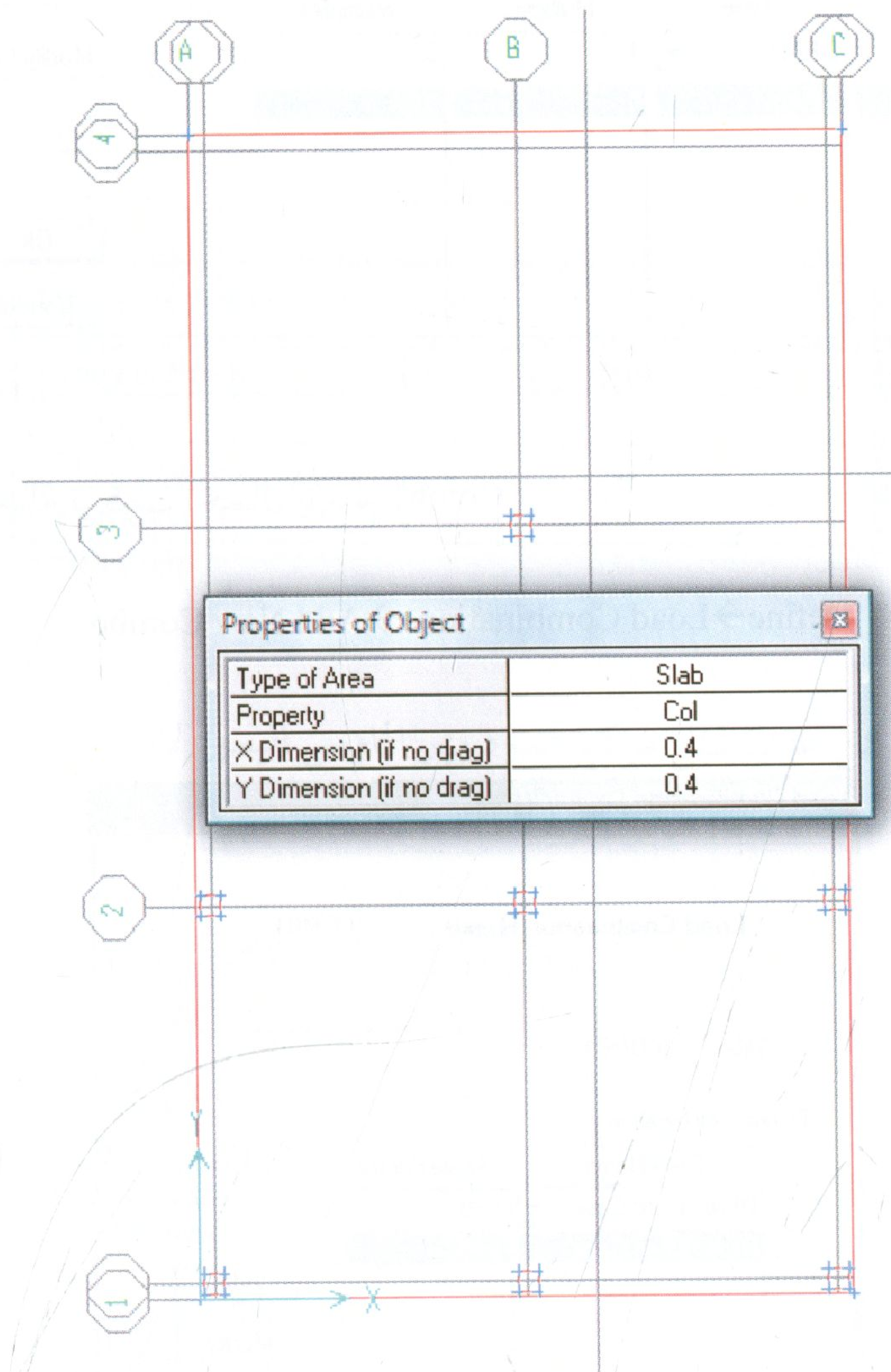
يتم الآن رسم الحصيرة باستخدام الأمر التالي وباختيار رؤوس الحصيرة المحددة بتقاطع خطوط الشبكة

Draw→Draw Area objects



يتم من ثم رسم الأعمدة باستخدام الأمر التالي، وبالنقر على مركز العمود (تقاطع خطي شبكة)

Draw→Draw Rectangular Area objects



يتم تعريف حالة تحميل واحدة باسم Load1

Define→Static load cases

Static Load Case Names

Loads

Load	Type	Self Weight Multiplier	Long Term Deflection Multiplier
LOAD1	DEAD	1.	3.
LOAD1	DEAD	1	3

Click to:

Add New Load

Modify Load

Delete Load

OK

Cancel

يتم تعريف حالة تركيب أحمال باسم Comb1

Define→Load Combinations→Add New Combo

Load Combination Data

Load Combination Name COMB1

Title COMB1

Define Combination

Case Name	Scale Factor
DEAD Load Case	1.35
DEAD Load Case	1.35

Add

Modify

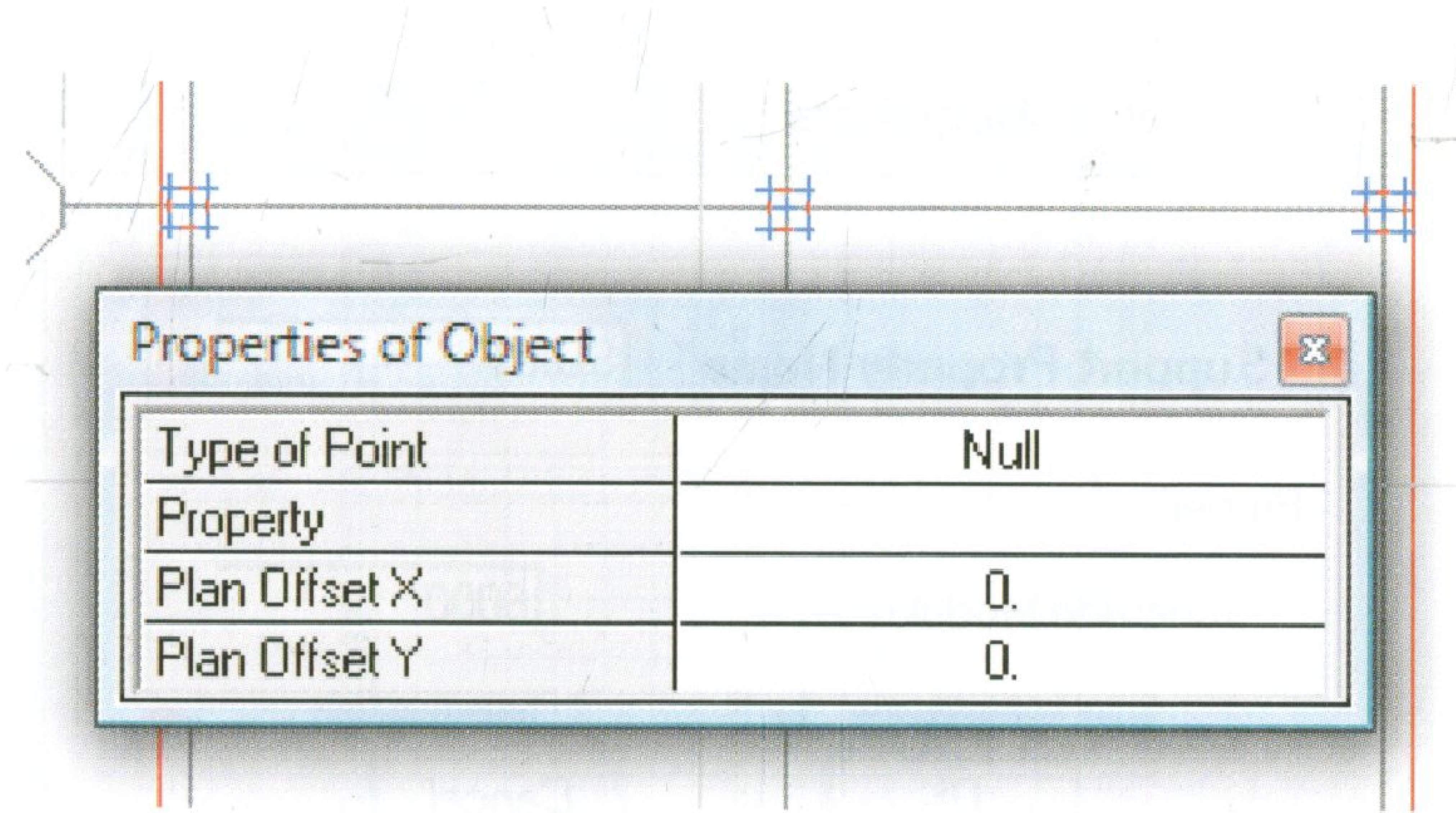
Delete

☑ Use for Design

OK Cancel

يتم تعريف نقطة Point نوع Null في مركز كل عمود باستخدام الأمر التالي، والنقر على مركز كل عمود (تقاطع خطي شبكة)

Draw→Draw Point Objects



يتم النقر على كل عقدة تمثل مركز عمود بزر الماوس اليمين لإدخال المعلومات المتعلقة بحمل العمود، مثلاً نافذة الحوار التالية خاصة بالعمود A1 (أعلى يسار الحصيرة)

Point Object Information

Identification and Location

Point ID 60 X 6.1

Attached to 0 Elements Y 14.6

Units KN-m

Restraints and Spring Supports

UZ Restraint Restraint Dimension X 0.

RX Restraint

RY Restraint Restraint Dimension Y 0.

Spring Support NONE

Applied Loads and Displacements

Load Case DEAD

	Fz (Down Pos)	Mx	My
Applied Load	380	0.	0.

	X Dimension	Y Dimension
Size of Load	0.4	0.4

	Uz (Down Pos)	Rx	Ry
Applied Displ	0.	0.	0.

OK

Cancel

يتم إدخال قيمة معامل رد فعل التربة K_s وذلك باستخدام الأمر التالي، وباعتبار الاسم Soil1 لمعلومات استناد التربة Soil Support Property

Define→Soil Supports→Modify/show

Soil Support Property Data

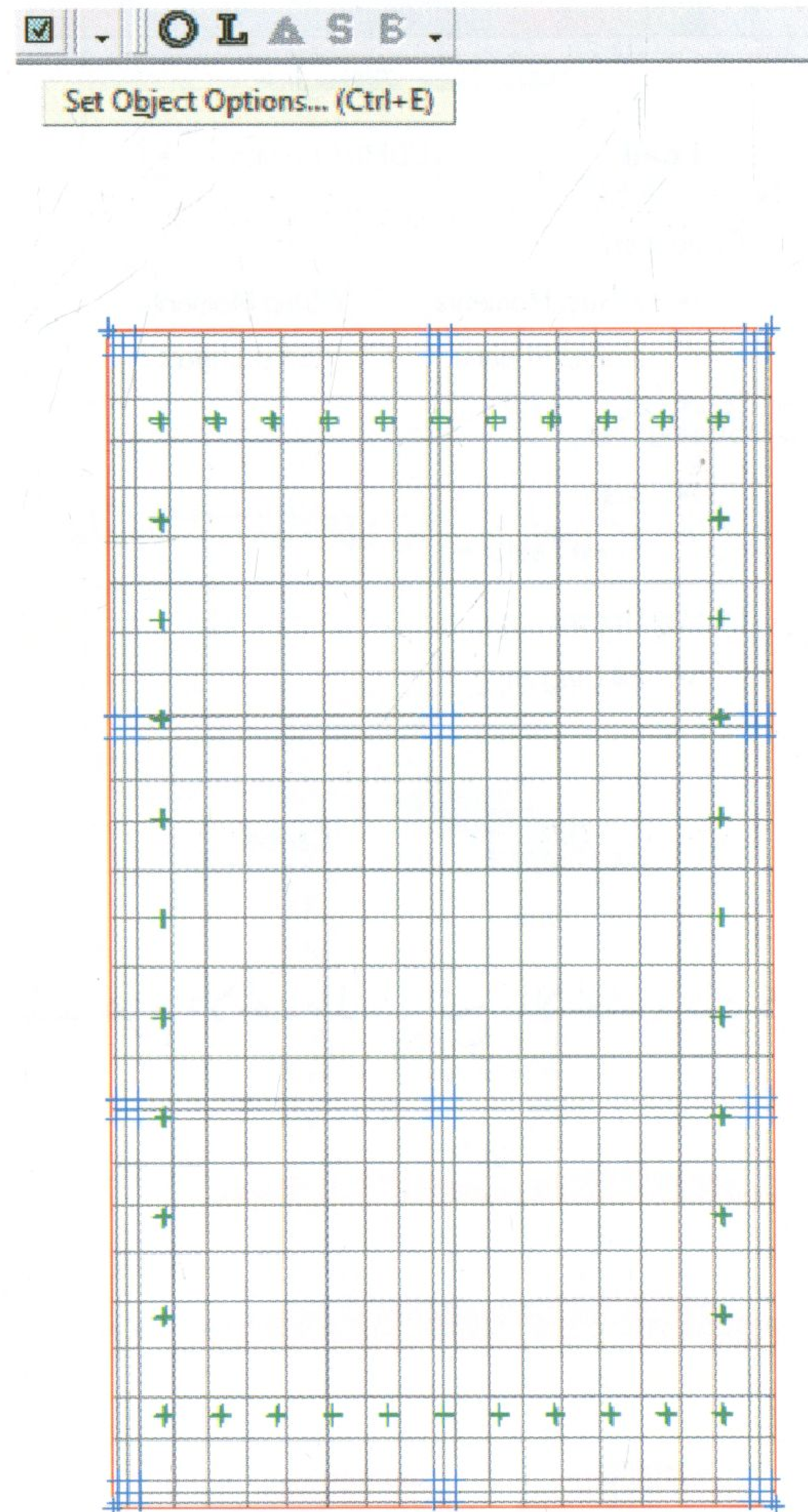
Support Property Name	SOIL1
Property	
Subgrade Modulus	6000
OK	Cancel

يتم اختيار الحصيرة بالنقر عليها بزر الماوس اليسار وتخصيص قيمة Soil1 المحددة سابقًا لها من خلال الأمر

Assign→Soil Supports→Soil1

يمكن إظهار النموذج التحليلي مع الشبكة المولدة أتوماتيكيًا بالنقر على زر

Sect Object Options→Show mesh

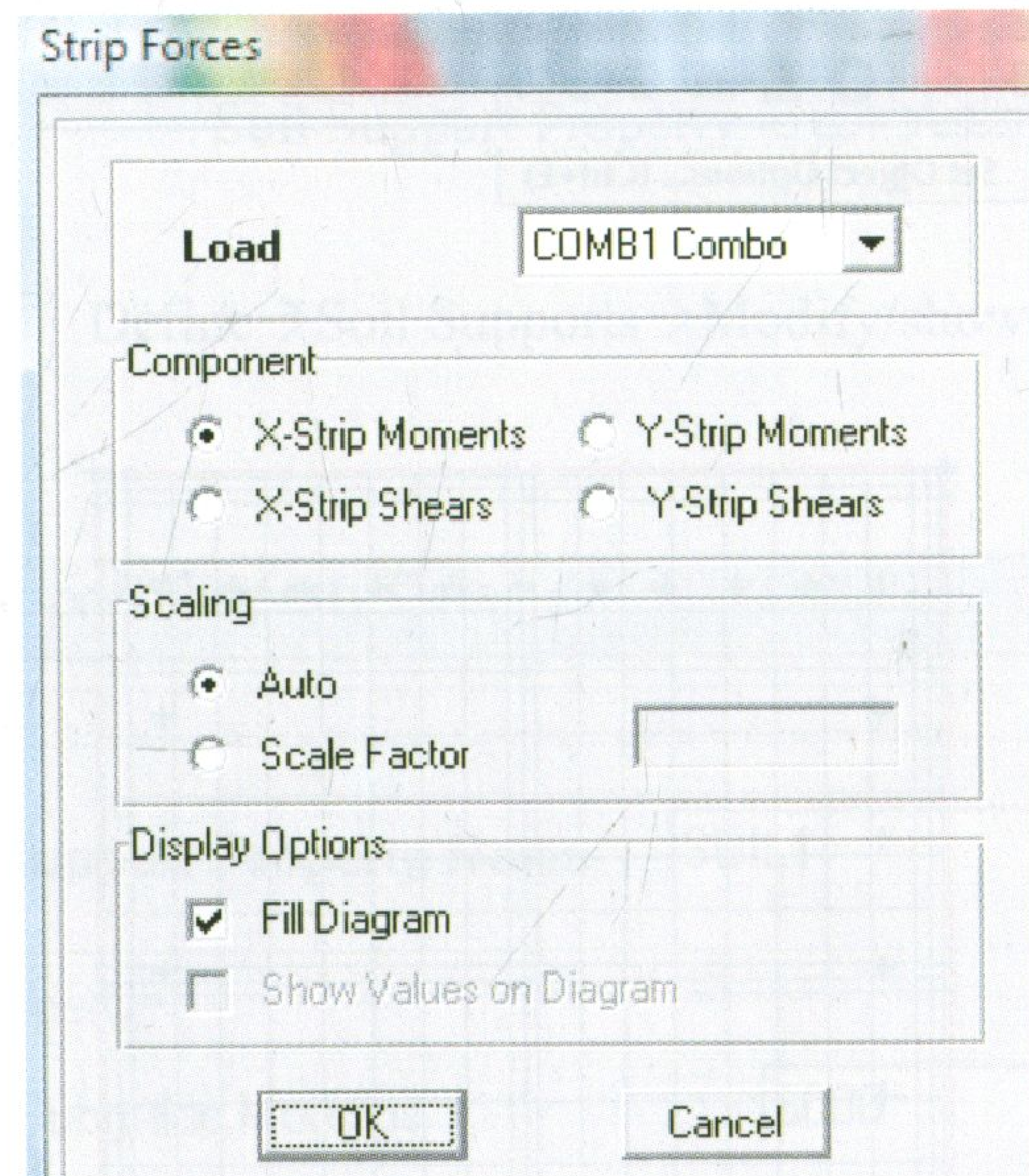


يتم إجراء التحليل الإنشائي باستخدام الأمر

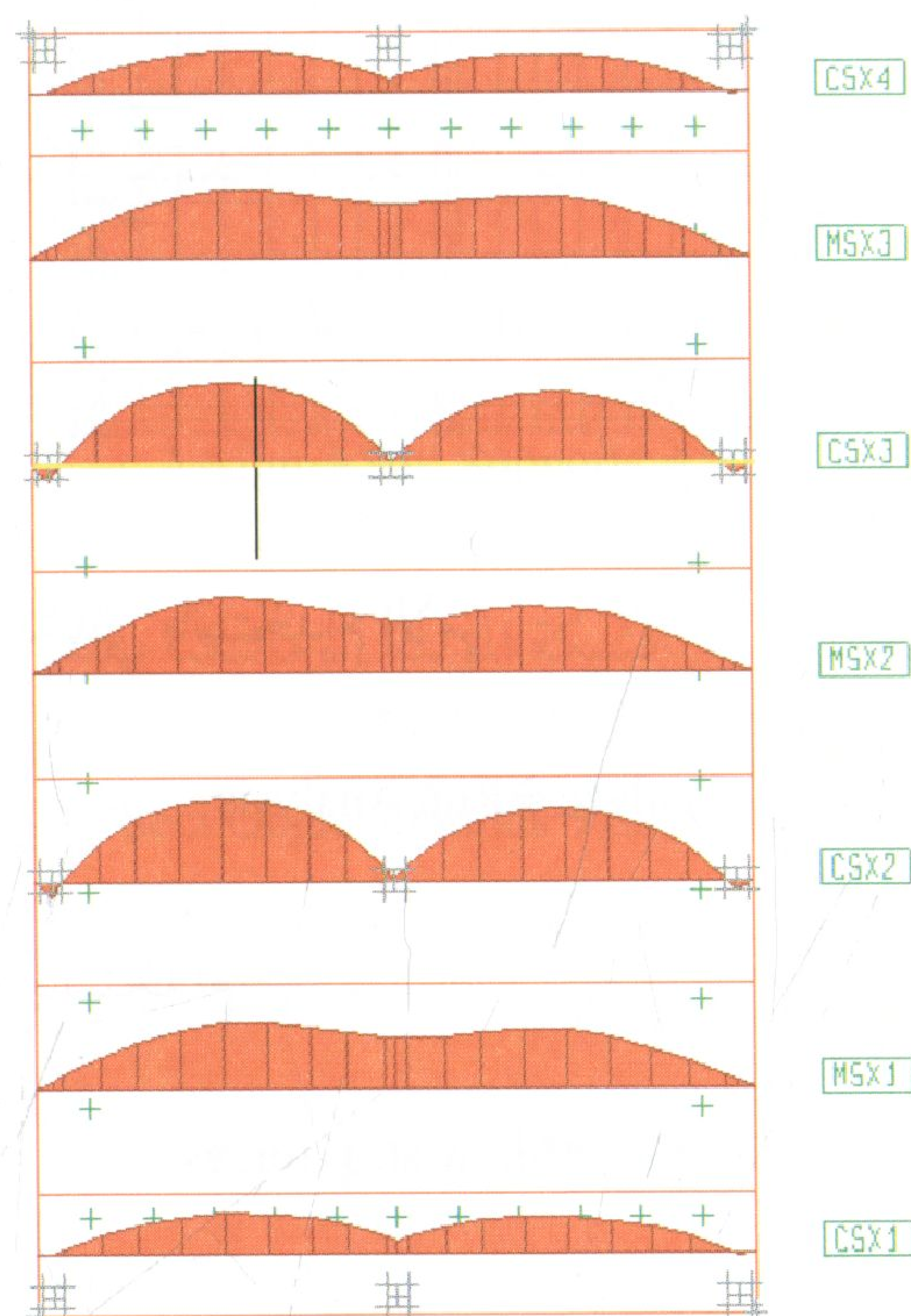
Analyze→Run Analysis

يتم استعراض النتائج باستخدام

Display→Show strip forces



الشكل التالي يمثل مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه x للتركيب Comb1

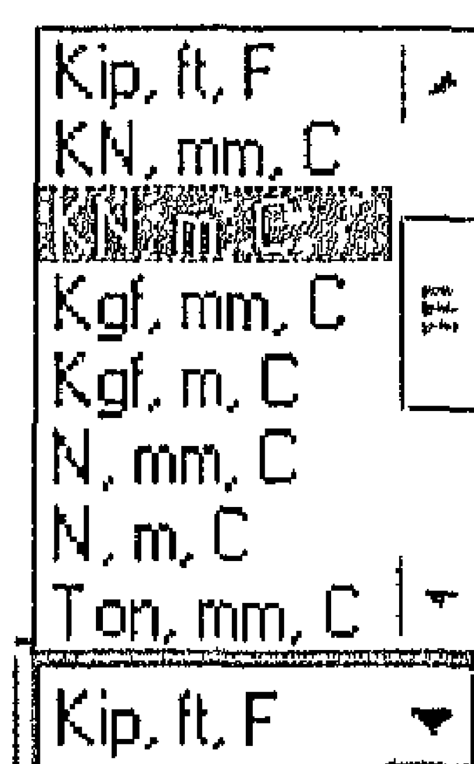


الملحق B4: المثال (٤,٥) إعداد النموذج التحليلي لحصيرة دائرية – خطوات تفصيلية

البرنامج المفضل استخدامه : SAP 2000.

خطوات إعداد النموذج التحليلي M1

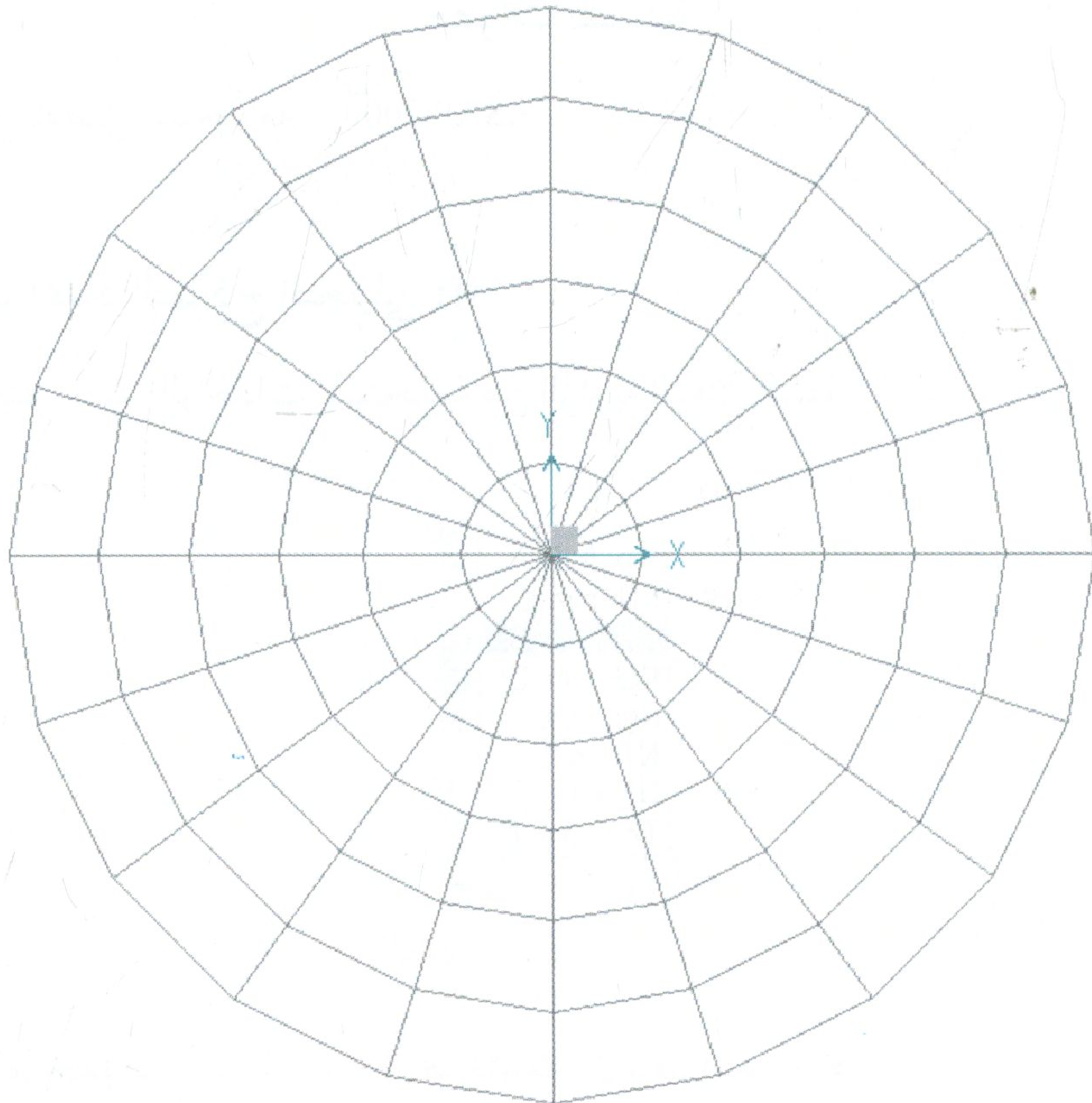
يتم اختيار الوحدات المستخدمة من الزاوية اليمنى السفلى للشاشة وهي (KN, m)



يتم رسم خطوط الشبكة باستخدام الشبكة الأسطوانية، وتحديد الخواص التالية التي تتناسب مع المسألة مبدئيًا

File→New Model→Grid Only→Cylindrical→Edit grid

يتم تعديل الإحداثي الثالث في مجموعة R Grid من 1.1 إلى 1.15 ليتناسب مع نصف قطر الرقبة، ومن ثم يتم إلغاء تسميات الإحداثيات (r1, t1, z1, ...) لتسهيل التعامل مع النموذج.



يتم تعريف عنصر قشري Shell Element باسم Raft وتحديد خواصه

Define→Area Sections→Add New Section

Shell Section Data

Section Name: Raft
Display Color

Type
- Shell - Thin
- Shell - Thick (selected)
- Plate - Thin
- Plate - Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Material
Material Name: CONC
Material Angle: 0.

Thickness
Membrane: 1.1
Bending: 1.1

Concrete Shell Section Design Parameters
Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers
Set Modifiers...

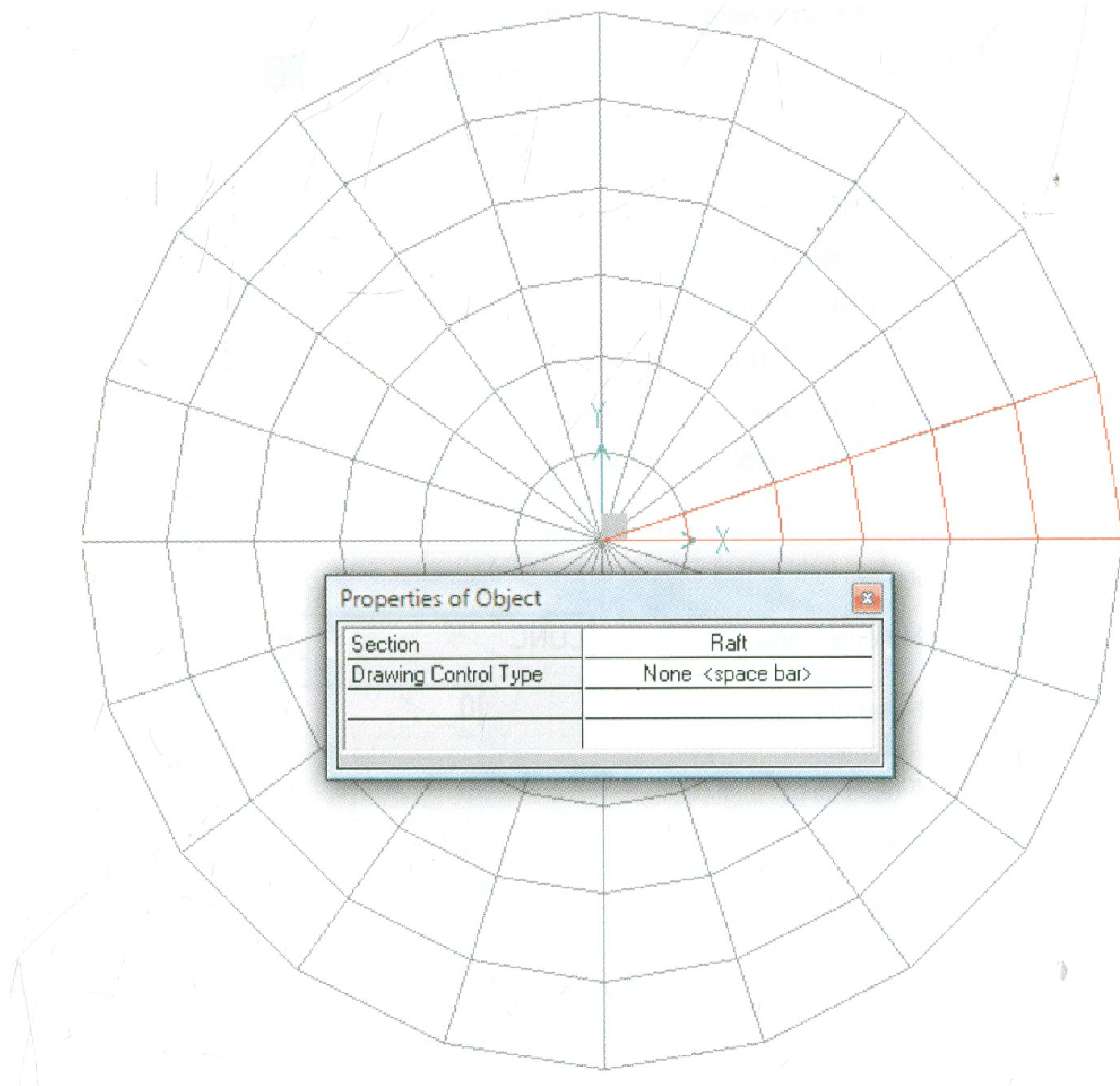
Temp Dependent Properties
Thermal Properties...

OK | Cancel

يتم رسم صف من العناصر تقع على أحد أنصاف الأقطار باستخدام الأمر

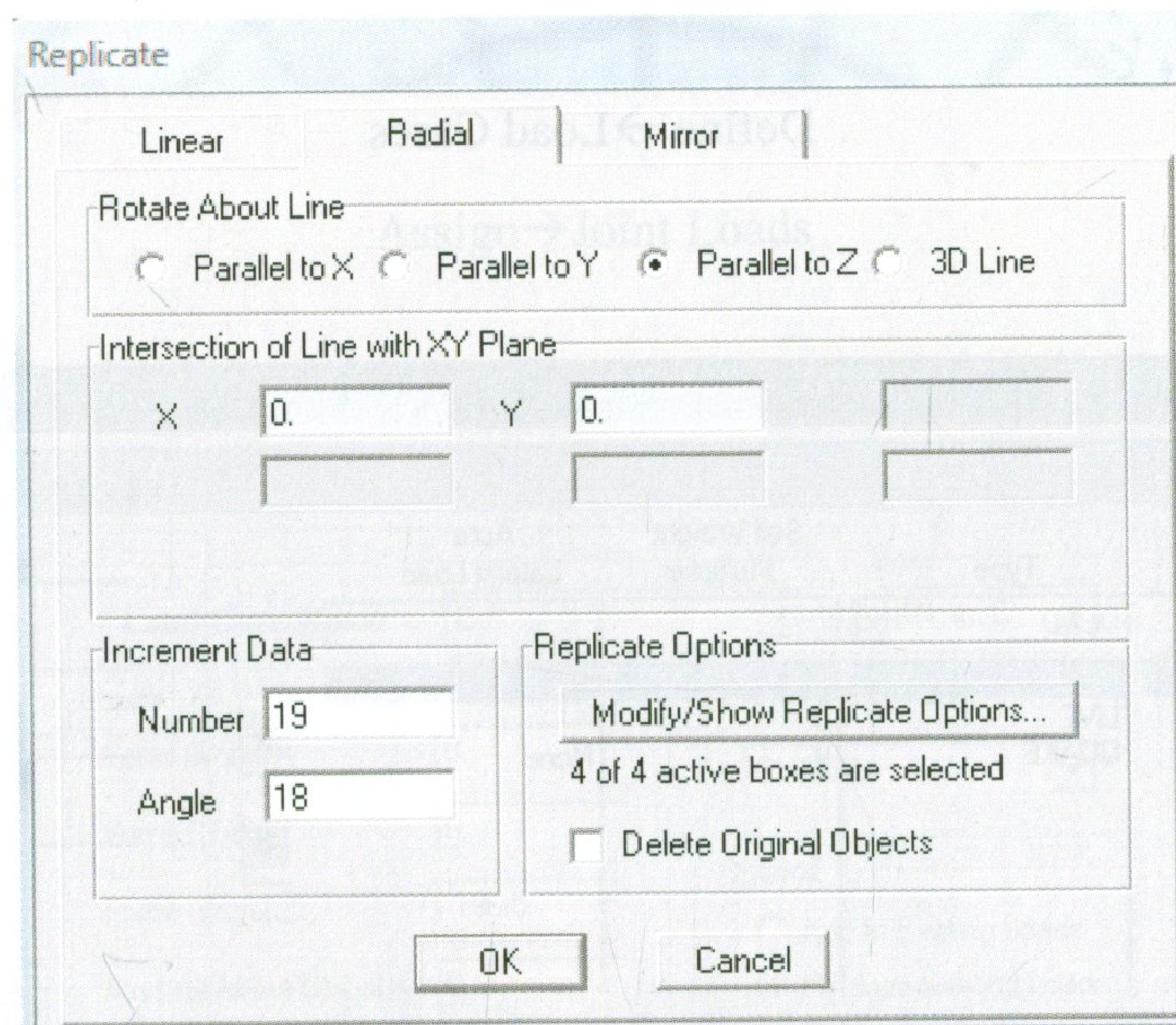
Draw→Draw quad area element

وذلك بالنقر على 4 نقاط تمثل رؤوس العنصر (في حال العنصر المثلثي يتم اختيار الرأس الداخلي مرتين)



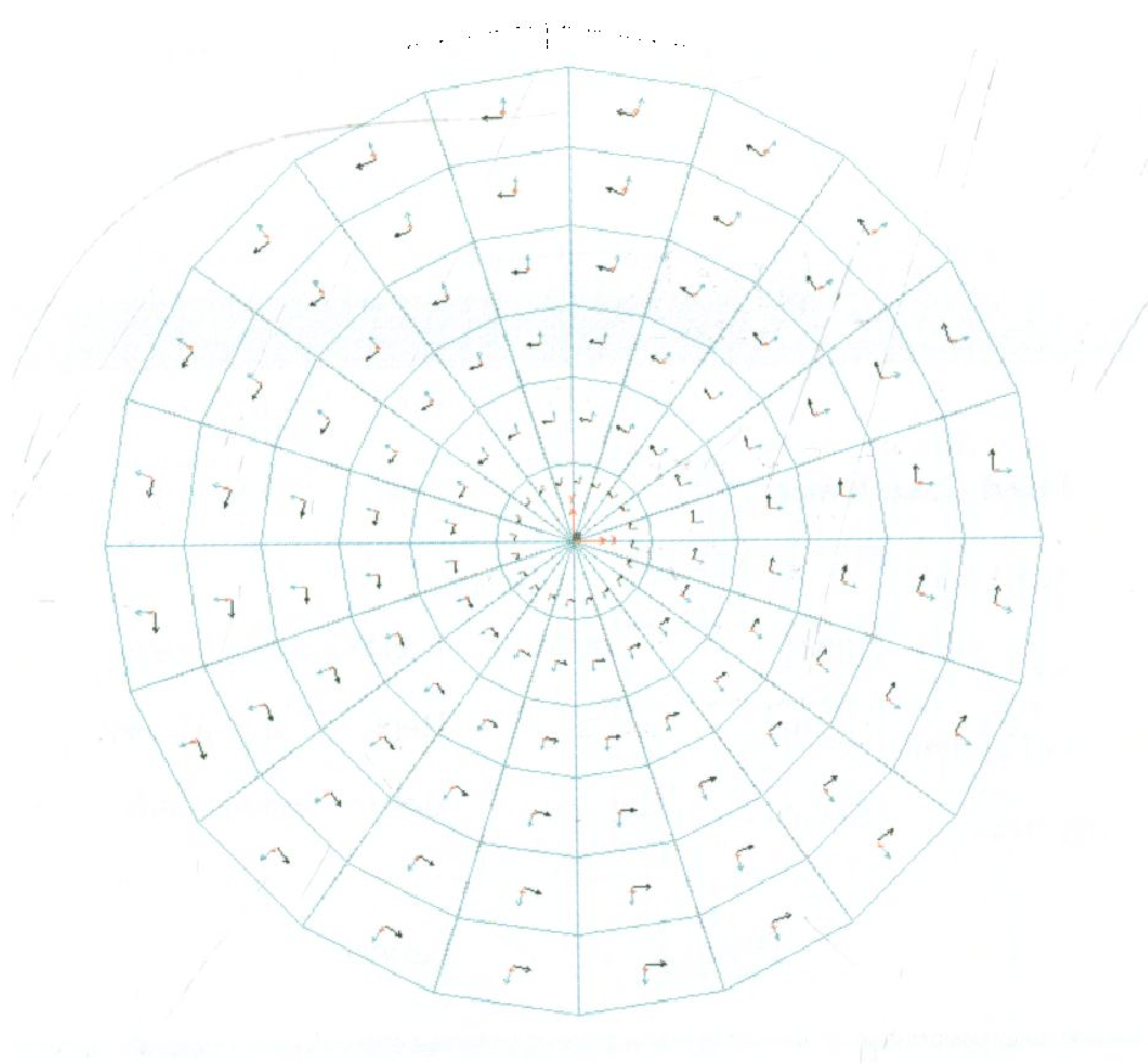
يتم اختيار العناصر السابقة بالنقر بالماوس على كل عنصر، ومن ثم تكرارها باستخدام الأمر التالي ليتم رسم باقي عناصر الحصيرة

Edite→Replicate→Radial



يمكن إظهار المحاور الخاصة للعناصر باستخدام الأمر التالي

Display→Show Misc Assigns→Area→Local Axes



يتم تعريف حالات التحميل التالية باستخدام

Define →Load Cases

Define Loads

Loads

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	
L	LIVE	0	
E	QUAKE	0	None

Click To:

Add New Load

Modify Load

Modify Lateral Load

Delete Load

OK

Cancel

يتم إدخال أحمال الجاذبية (Dead, L) باعتبارها موزعة بانتظام على العناصر المناسبة بعد اختيار العناصر باستخدام

Assign→Area Loads→Area (Shell)

Area Uniform Loads

Load Case Name: L

Units: KN, m, C

Uniform Load

Load: 139.8

Coord System: GLOBAL

Direction: Gravity

Options

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

OK

Cancel

يتم إدخال أحمال الزلازل (E) كقوى ضغط وشد على العقد المناسبة، وذلك بعد اختيار العقدة أولاً

Assign→Joint Loads

Joint Forces

Load Case Name: E

Units: KN, m, C

Loads
Force Global X: 0.
Force Global Y: 0.
Force Global Z: -196.5
Moment about Global X: 0.
Moment about Global Y: 0.
Moment about Global Z: 0.

Coordinate System: GLOBAL

Options
Add to Existing Loads
Replace Existing Loads
Delete Existing Loads

OK
Cancel

يتم اختيار جميع العقد لتحديد درجات الحرية وفق ما يلي

Assign → Joint→Restraints

Joint Restraints

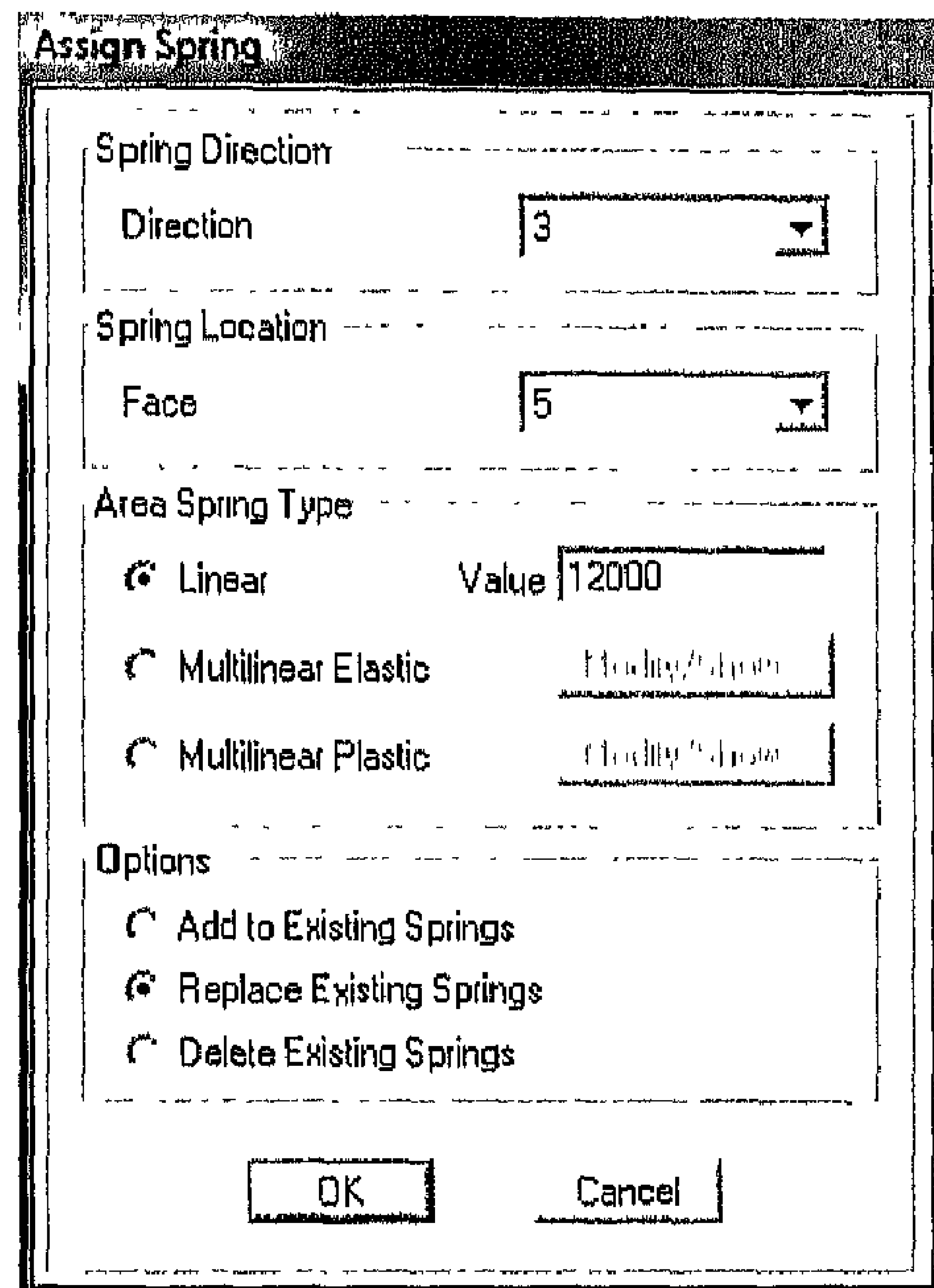
Restraints in Joint Local Directions
Translation 1
Rotation about 1
Translation 2
Rotation about 2
Translation 3
Rotation about 3

Fast Restraints

OK
Cancel

يتم تعريف قيمة معامل رد فعل التربة K_s وتخصيصها لعناصر الحصيرة وفق ما يلي بعد اختيار كافة عناصر الحصيرة

Assign→Area→Area Springs



يتم تعريف تراكيب الأحمال التالية

Comb1: 1.2 D + 1.6 L

Comb2: 1.2 D + 1.0 L + 1.0 E

وذلك باستخدام الأمر

Define→Combinations→Add New Combo

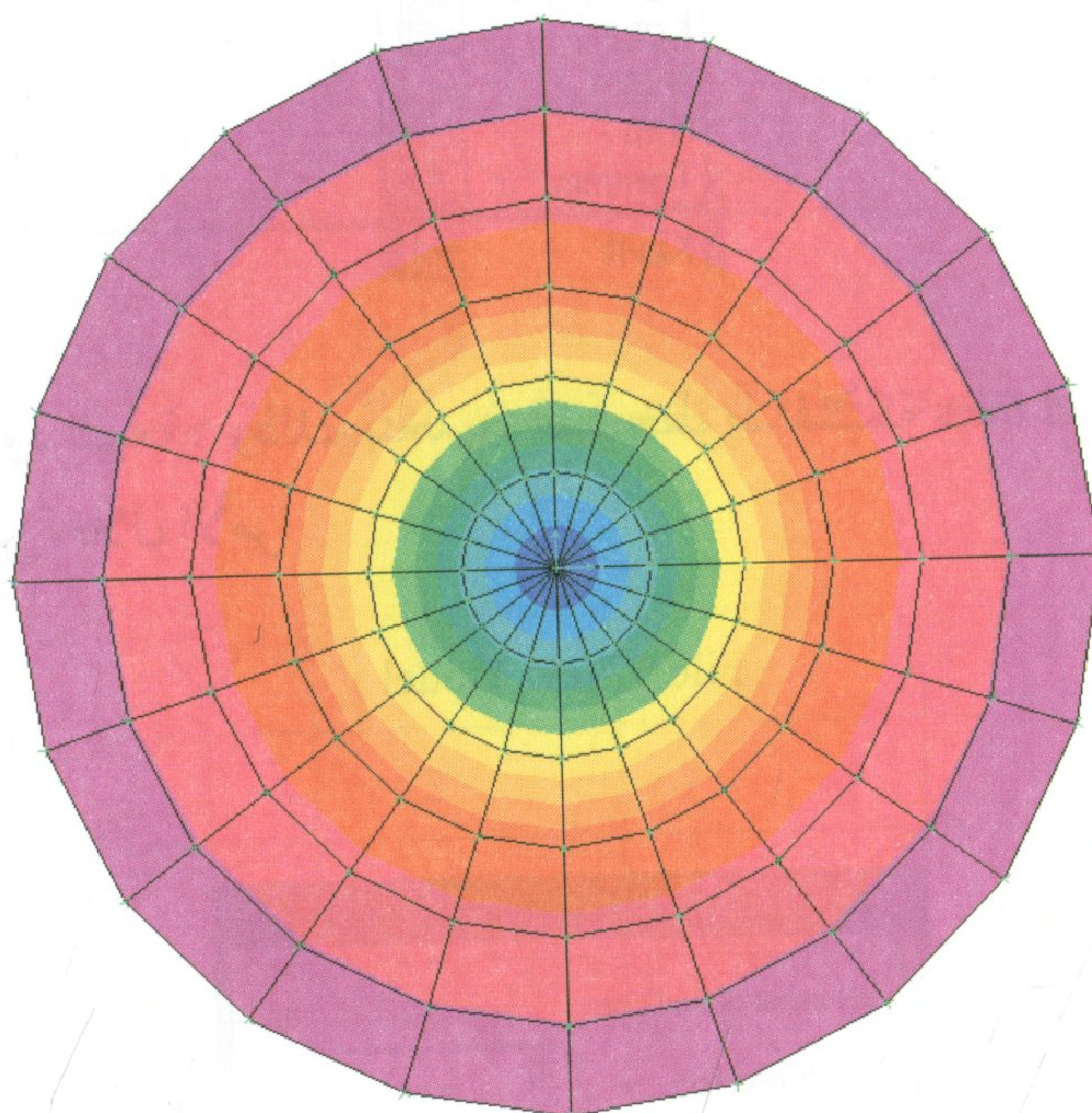
يتم إجراء التحليل الإنشائي

Analyze→Run Analysis

يمكن استعراض الجهود باستخدام الأمر

Display→Show Forces/Stresses→Shells

مثلاً الشكل التالي يظهر العزم M11 للحالة Comb2

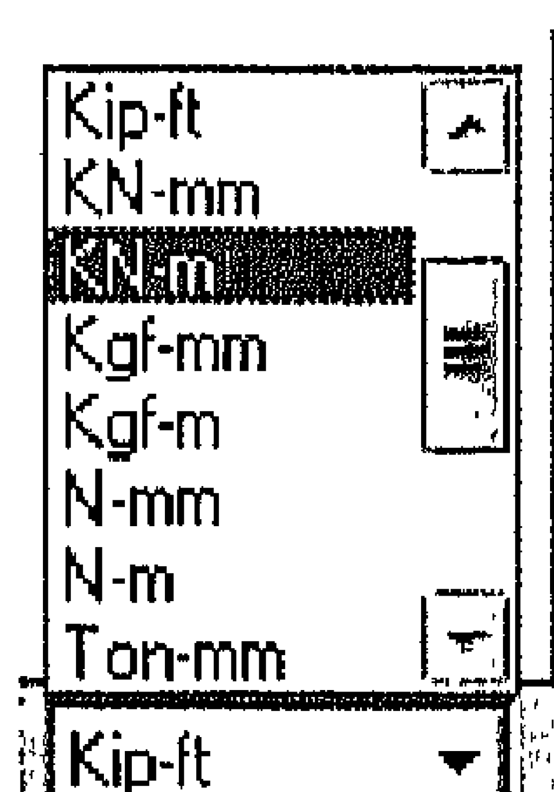


الملحق B5: المثال (٦,٢) إعداد النموذج التحليلي لقبعة أوتاد – خطوات تفصيلية

البرنامج المفضل استخدامه : SAFE.

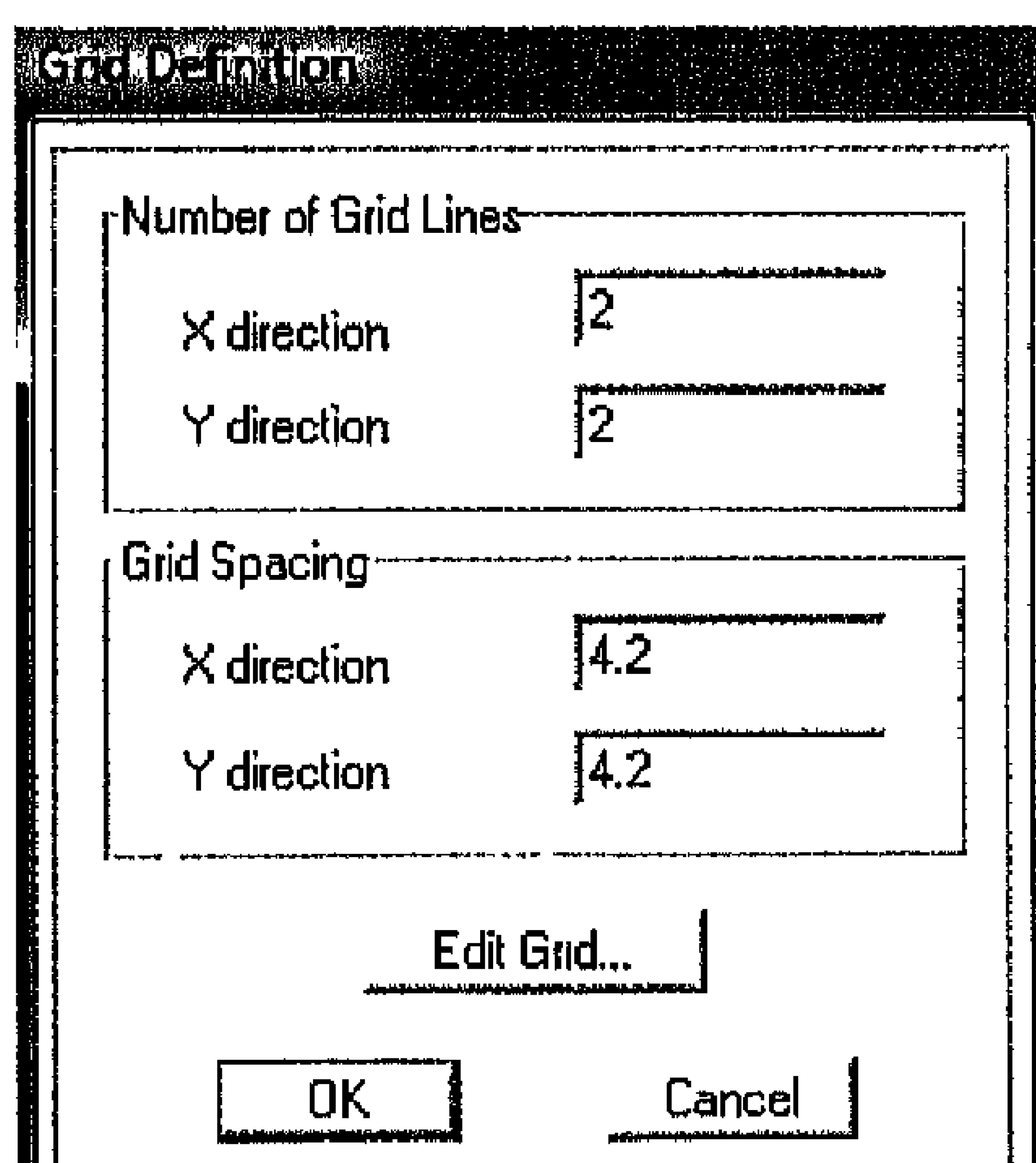
خطوات إعداد النموذج التحليلي M1

يتم اختيار الوحدات المستخدمة من الزاوية اليمنى السفلى للشاشة وهي (KN, m)

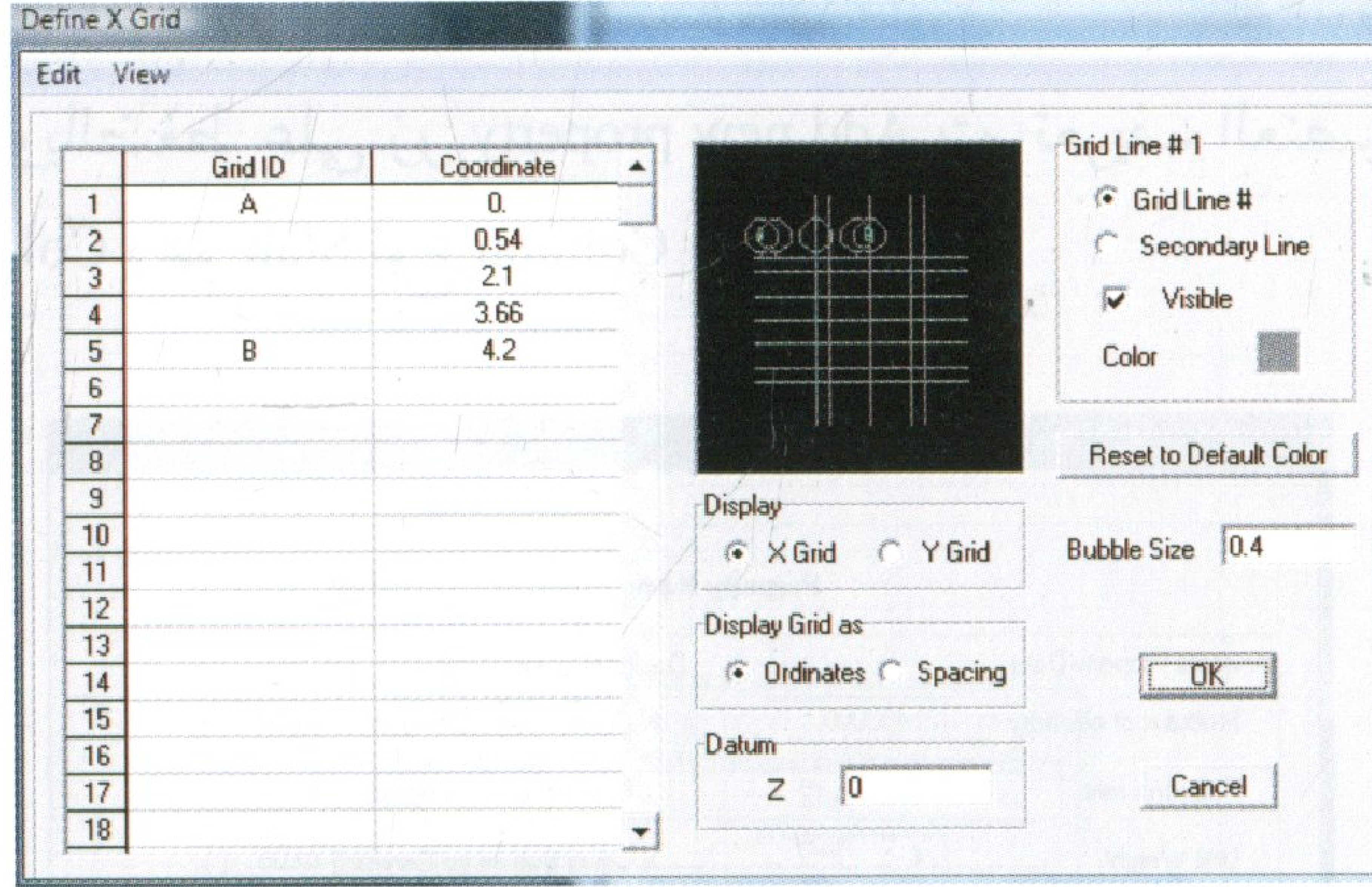


يتم تعريف حدود القبعة ، وذلك بتحديد عدد خطوط الشبكة Grid lines والتباعد بينها Grid spacing من خلال الأمر

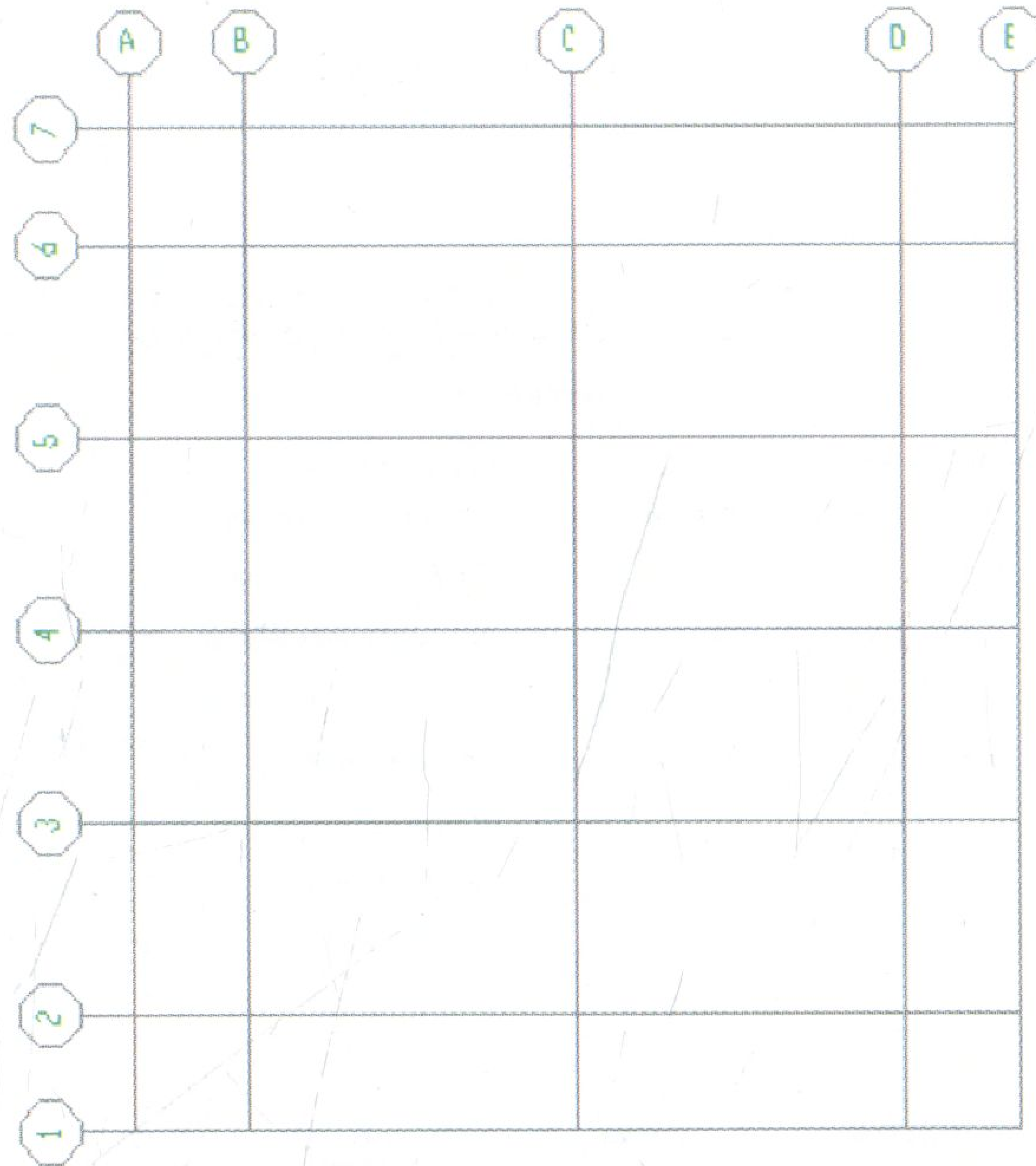
File→New Model



يتم الضغط على زر Edit Grid لتعريف خطوط شبكة إضافية لتساعد على رسم موقع العمود ومراكز الأوتاد



فيتم الحصول على حدود ومحاور الحصيرة بشكل نهائي وفق ما يلي



يتم تعريف العنصر الذي سيمثل القبعة باسم Raft و نوع العنصر Slab (Thick Plate) ويتم تحديد خواص هذا العنصر

Defins→Slab Properties

بنفس الطريقة وبالضغط على زر Add new property يتم تعريف العنصر الذي سيمثل العمود باسم Col 1 وهو Slab نوع Column

Slab Property Data

Property Name: Raft

Analysis Property Data	
Modulus of elasticity	21400000
Poisson's ratio	0.2
Unit Weight	24
Type	Slab
Thickness	1.8

Design Property Data	
X Cover Top (to Centroid)	0.08
Y Cover Top (to Centroid)	0.1
X Cover Bottom (to Centroid)	0.08
Y Cover Bottom (to Centroid)	0.1
Concrete Strength, fc	30000
Reinforcing Yield stress, fy	414000

☐ No Design
☐ Lightweight
☑ Thick Plate ☐ Orthotropic
OK Cancel

Slab Property Data

Property Name: Col

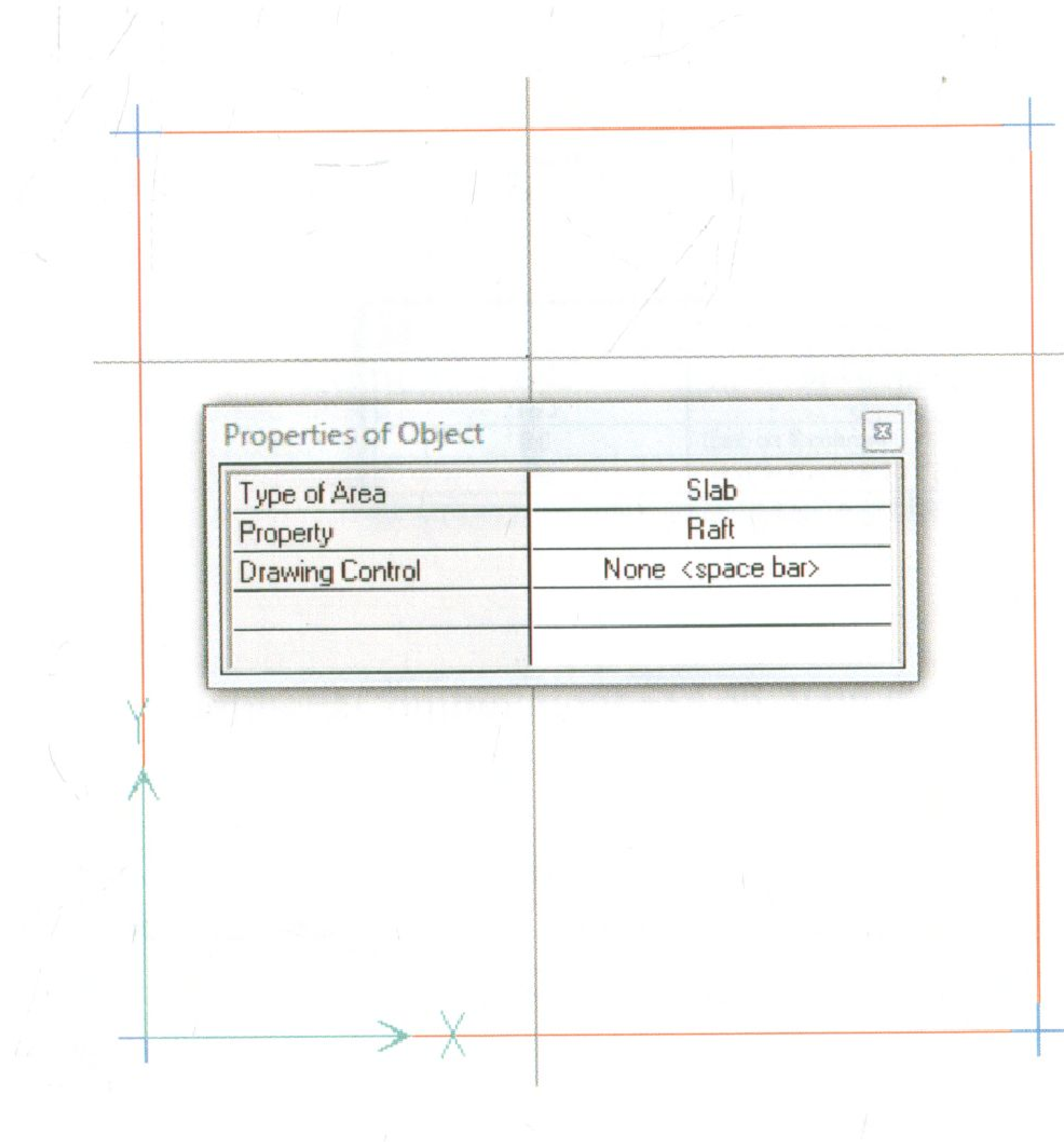
Analysis Property Data	
Modulus of elasticity	21400000
Poisson's ratio	0.2
Unit Weight	24
Type	Column
Thickness	3

Design Property Data	
X Cover Top (to Centroid)	
Y Cover Top (to Centroid)	
X Cover Bottom (to Centroid)	
Y Cover Bottom (to Centroid)	
Concrete Strength, fc	
Reinforcing Yield stress, fy	

☑ No Design
☐ Lightweight
☐ Thick Plate ☐ Orthotropic
OK Cancel

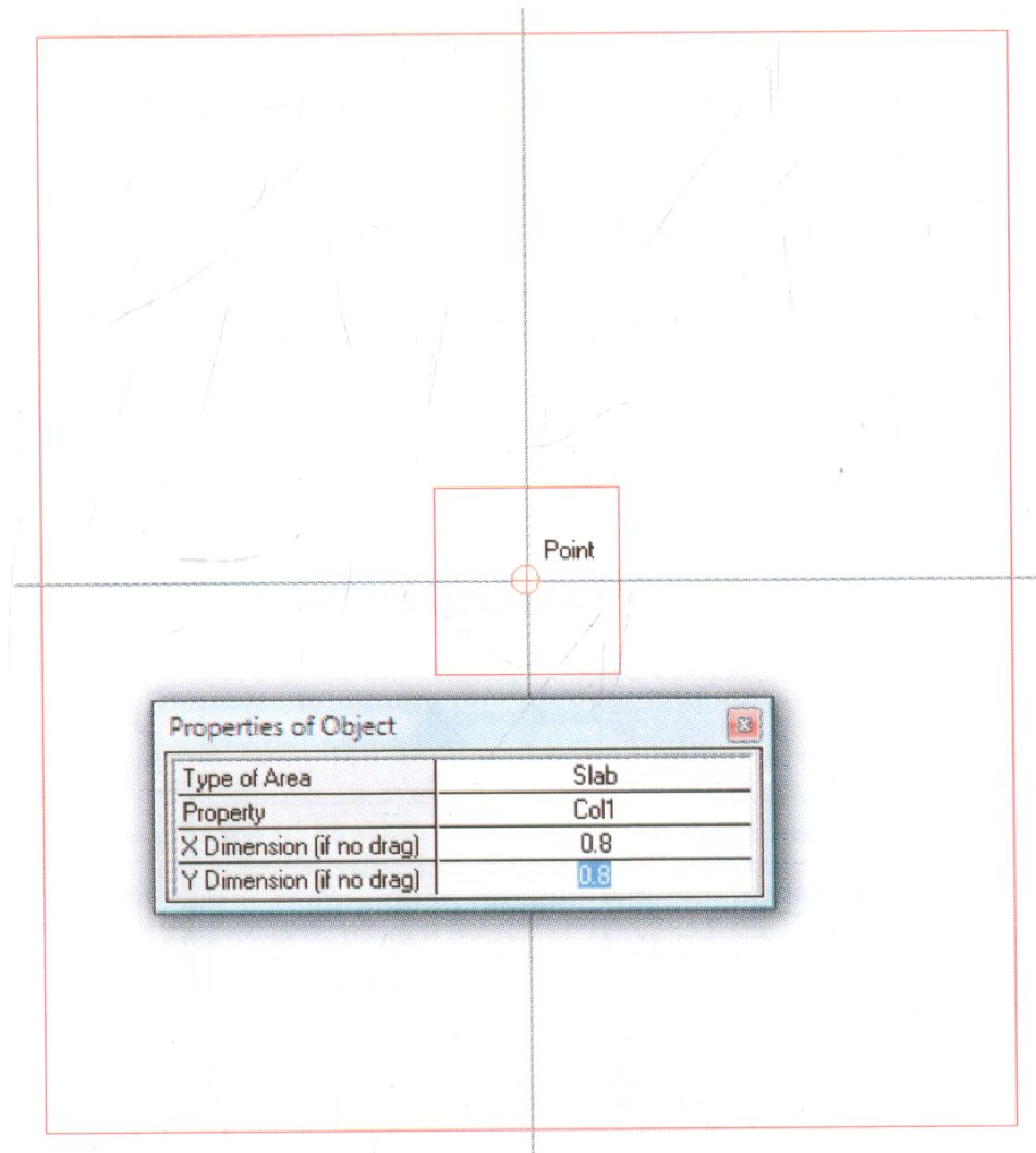
يتم الآن رسم القبعة باستخدام الأمر التالي وباختيار رؤوس القبعة المحددة بتقاطع خطوط الشبكة

Draw→Draw Area objects



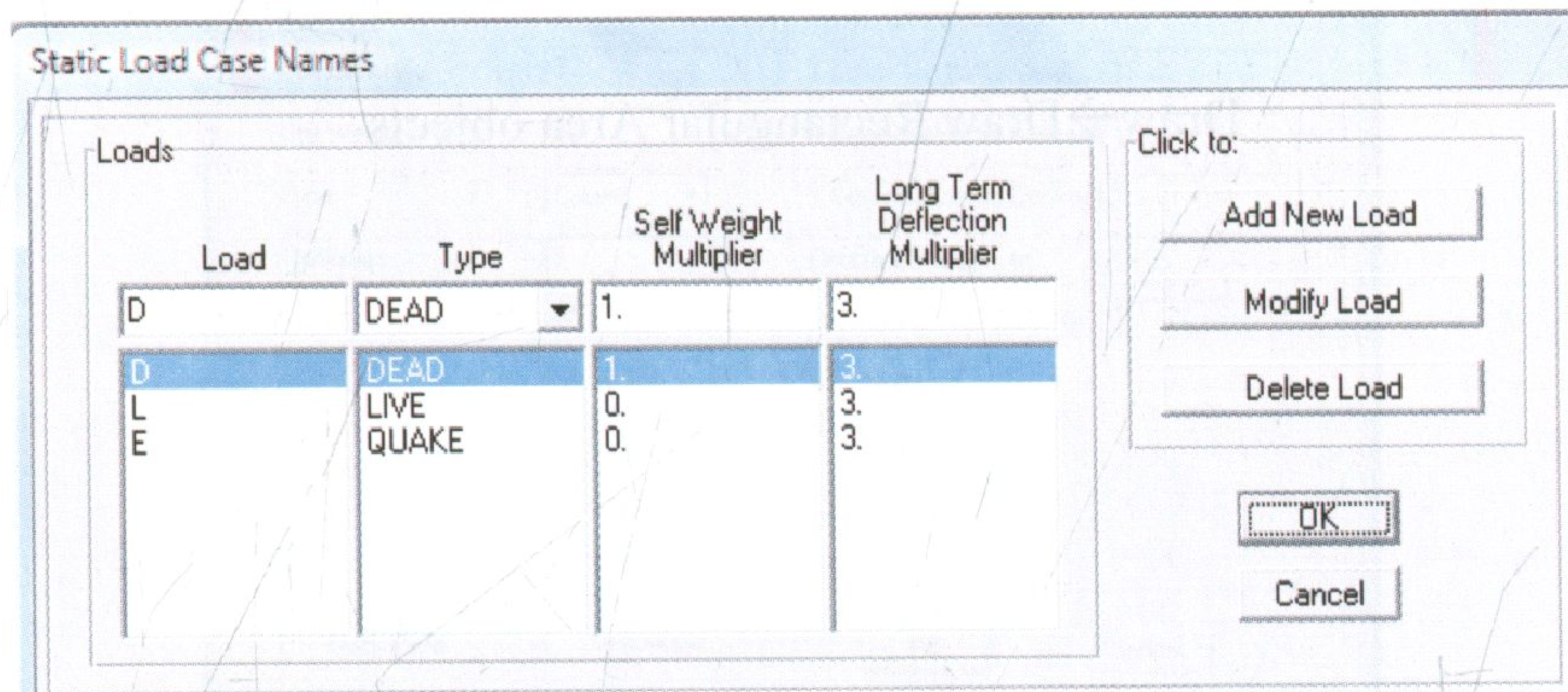
يتم من ثم رسم العمود باستخدام الأمر التالي وبالنقر على مركز العمود (تقاطع خطي شبكة)

Draw→Draw Rectangular Area objects



يتم تعريف ثلاث حالات تحميل (D, L, E) تمثل الأحمال الميتة، الحية والزلازل على التوالي وفق ما يلي

Define→Static load cases



يتم تعريف تراكيب الأحمال التالية

Comb1: 1.0 D + 1.0L

Comb1: 1.0 D + 1.0 L + 1.0E

Comb2: 1.2 D + 1.6 L

Comb3: 1.2 D + 1.0 L + 1.0 E

وذلك باستخدام الأمر

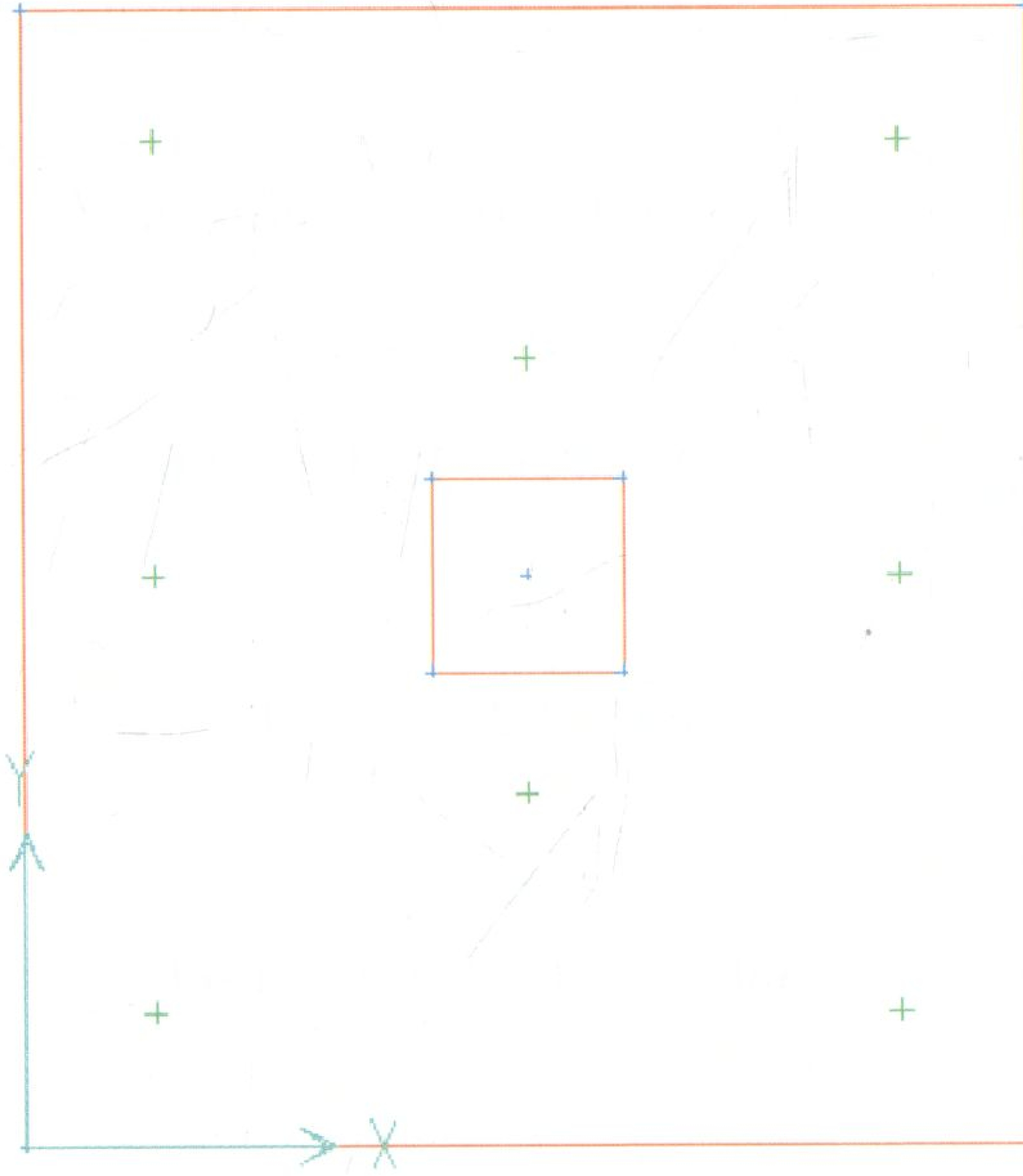
Define→Combinations→Add New Combo

يتم تعريف نقطة Point نوع Null في مركز كل عمود ووتد باستخدام الأمر التالي والنقر على مركز كل عمود ووتد (تقاطع خطي شبكة)

Draw→Draw Point Objects

Properties of Object

Type of Point	Null
Property	
Plan Offset X	0.
Plan Offset Y	0.



يتم النقر على العقدة التي تمثل مركز العمود بزر الماوس اليمين لإدخال المعلومات المتعلقة بحمل العمود وفق كل حالة تحميل

Point Object Information

Identification and Location

Point ID 15 X 2.1

Attached to **0** Elements Y 2.35

Units: KN-m

Restraints and Spring Supports

UZ Restraint Restraint Dimension X 0.

RX Restraint

RY Restraint Restraint Dimension Y 0.

Spring Support NONE

Applied Loads and Displacements

Load Case D

	Fz (Down Pos)	Mx	My
Applied Load	3640	20	-110
	X Dimension	Y Dimension	
Size of Load	0.8	0.8	
	Uz (Down Pos)	Rx	Ry
Applied Displ	0.	0.	0.

OK

Cancel

يتم تعريف صلابة الوتد بإدخال المعلومات المتعلقة بالوتد (ارتفاع Height، قطر Diameter، ...) باسم Pile عن طريق

Define→Column Supports→Add New Property

Column Support Property Data

Support Property Name PILE

Define Column by
Rectangular Properties · Circular Properties · Spring Constants

Activate Support Property
Below Slab Only · Above Slab Only · Above and Below Slab

Properties Below Slab

Modulus of Elasticity 2140000 · Capital Diameter 0.
Poisson's Ratio 0.2
Diameter 0.6 · Capital Height 0
Column Height 15

Spring Constants
Vertical
Rotate about X-axis
Rotate about Y-axis

Include Bending Stiffness

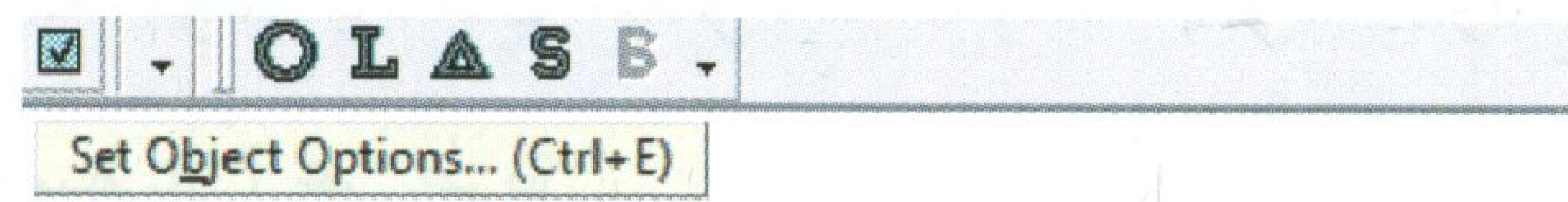
OK Cancel

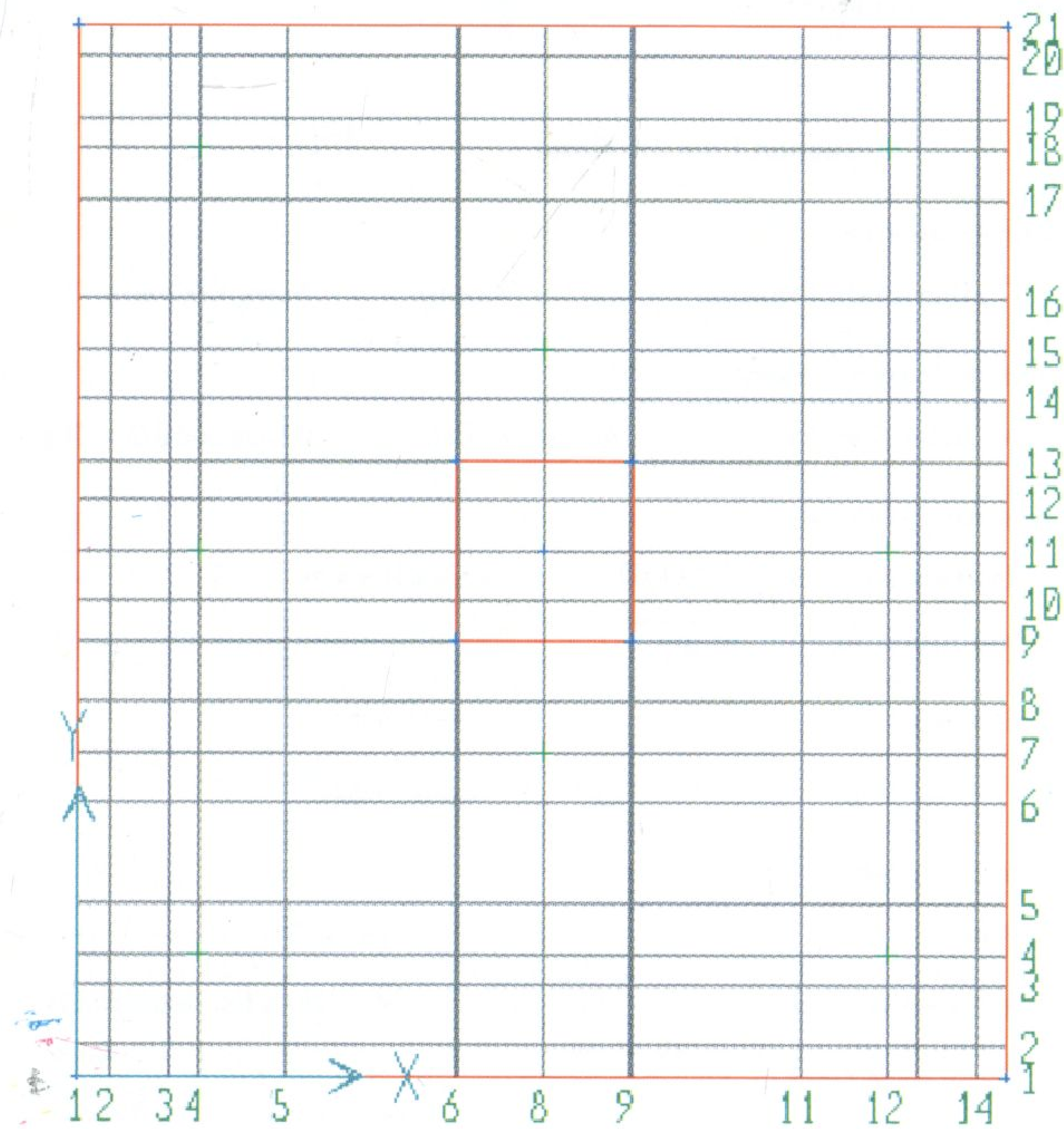
يتم النقر على كل عقدة تمثل الوتد وتخصيصها بنقطة ارتكاز Column Support نوع Pile

Assign→Column Supports→Pile

يمكن إظهار النموذج التحليلي مع الشبكة المولدة أتوماتيكيًا بالنقر على زر

Set Object Options→Show mesh



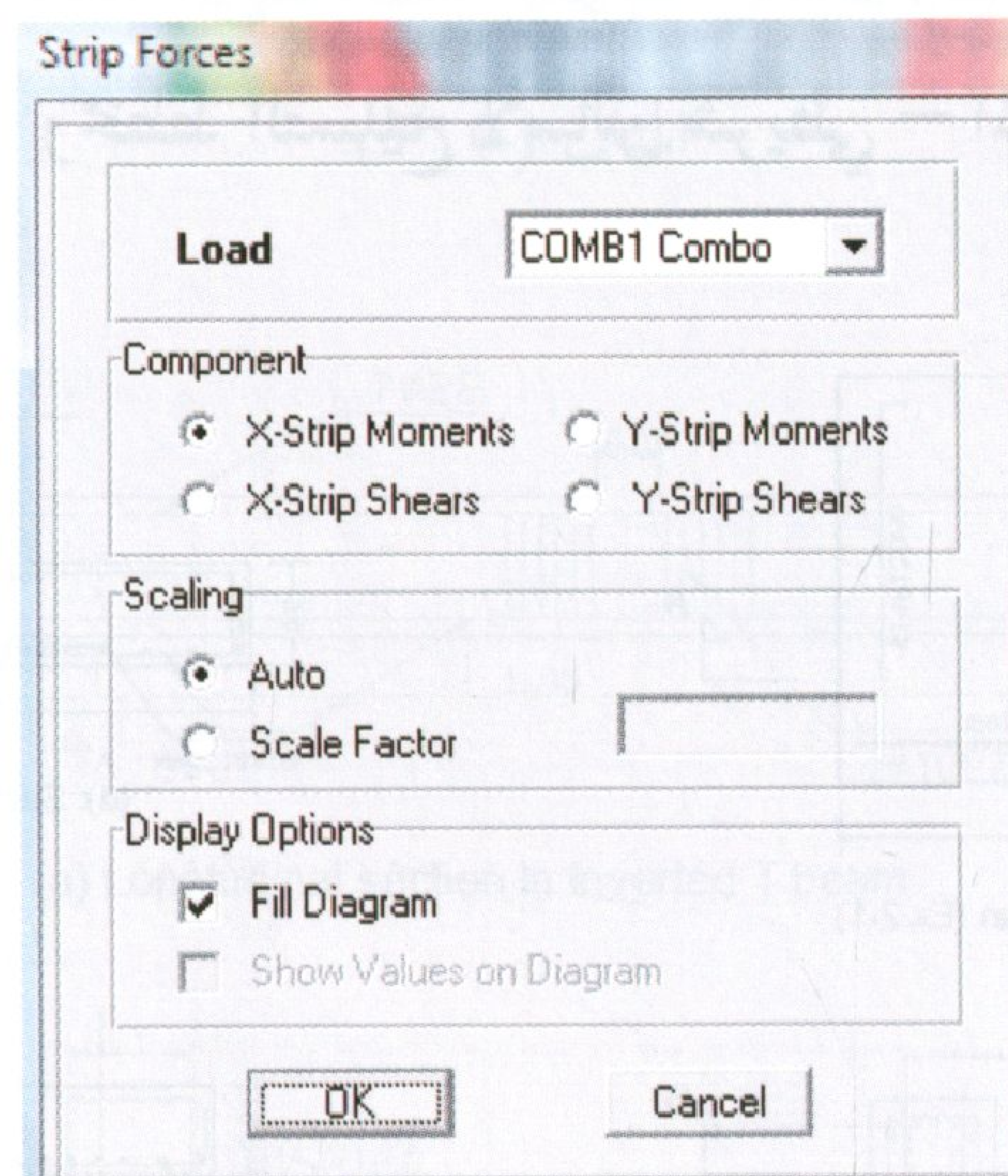


يتم إجراء التحليل الإنشائي باستخدام الأمر

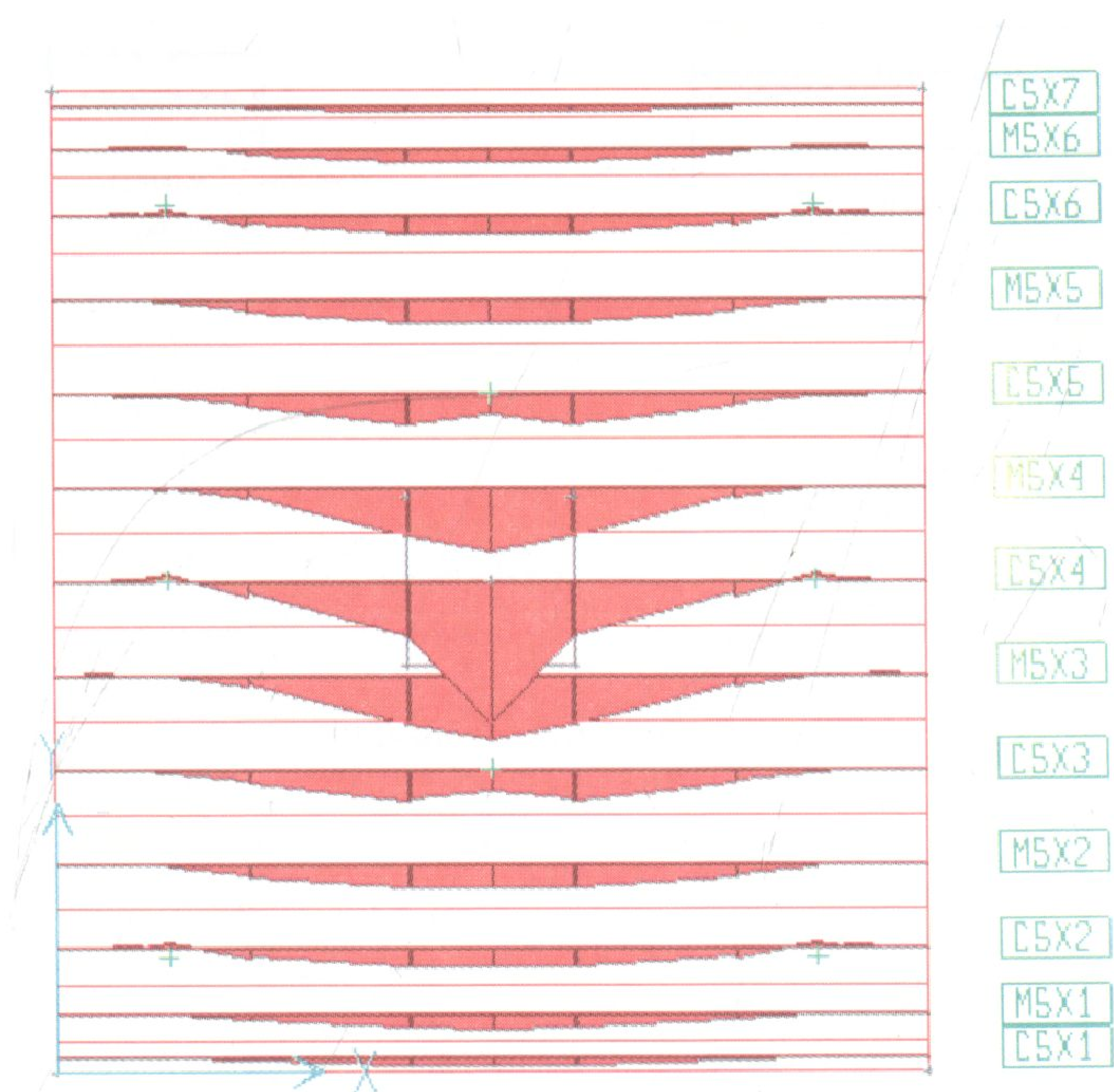
Analyze→Run Analysis

يتم استعراض النتائج باستخدام

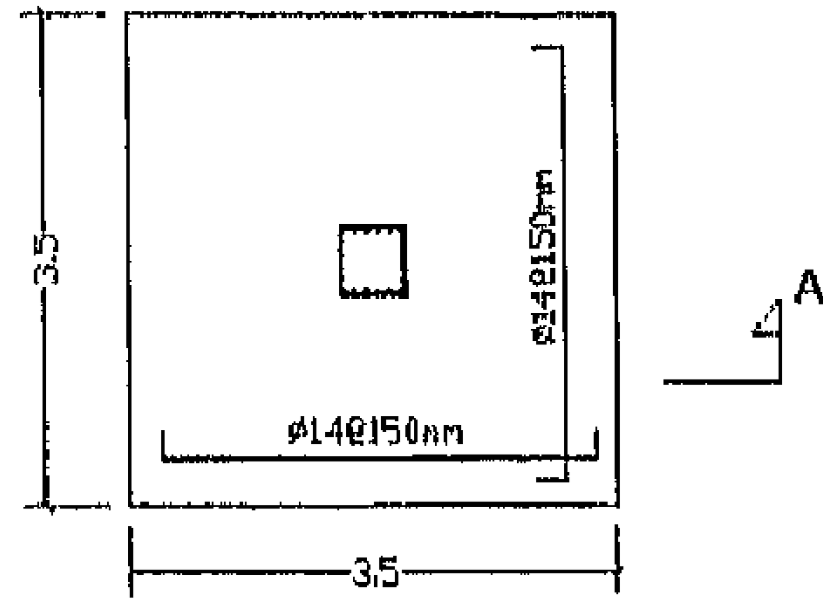
Display→Show strip forces



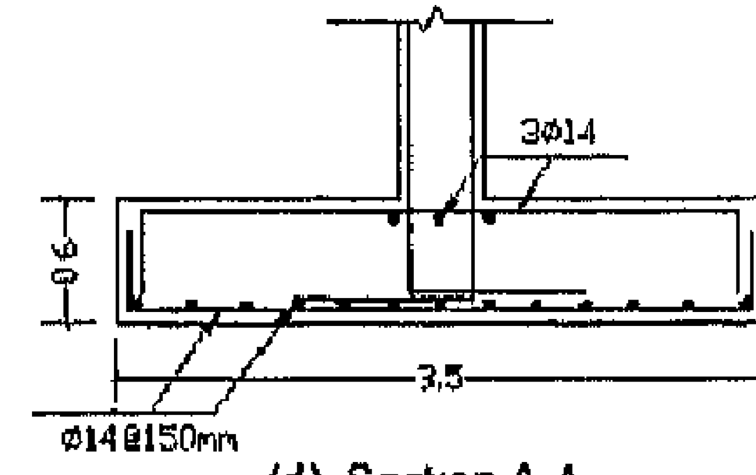
الشكل التالي يظهر مخطط عزم الانحناء للشرائح بالاتجاه x لحالة التركيب Comb3



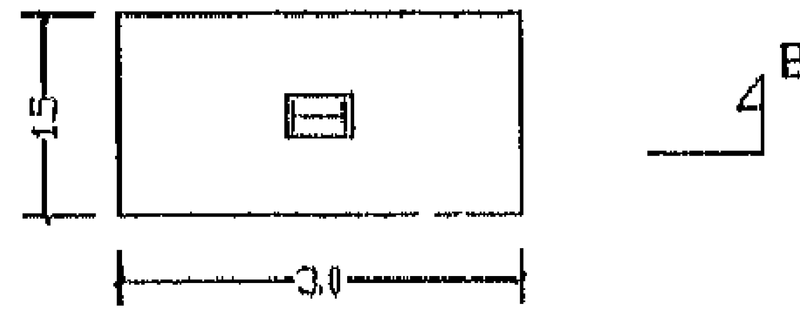
الملحق C1: مخطط التسليح لقاعدة منعزلة – المثال (٢,١) والمثال (٢,٢) ومخطط التسليح لأساس شريطي – المثال (٣,١)



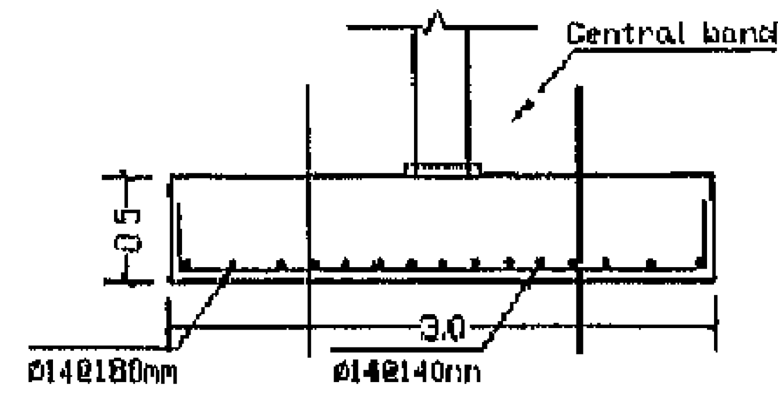
(a) Footing plan (Ex 2-1)



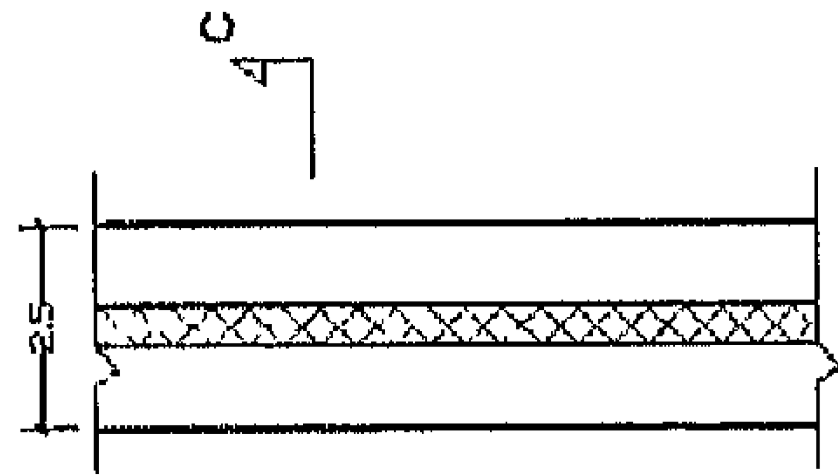
(d) Section A-A



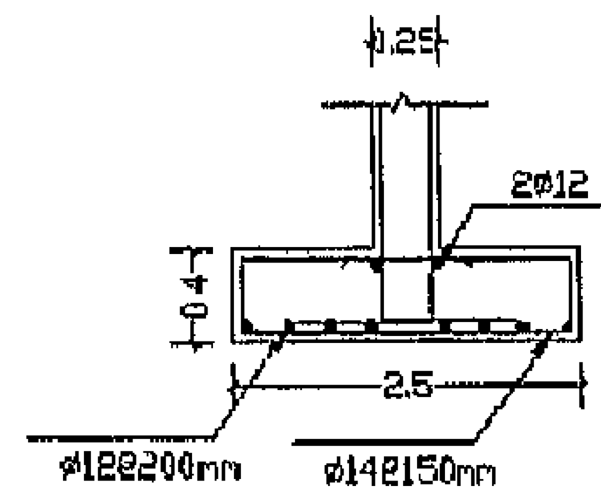
(b) Footing plan (Ex 2-2)



(e). Section B-B

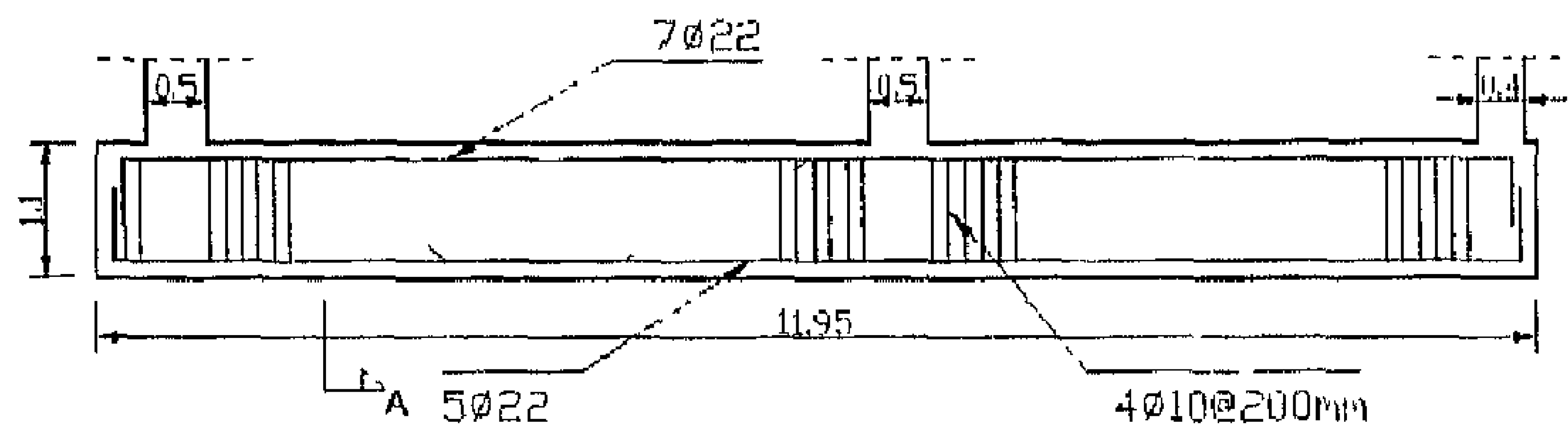


(c) Footing plan (Ex 3-1)

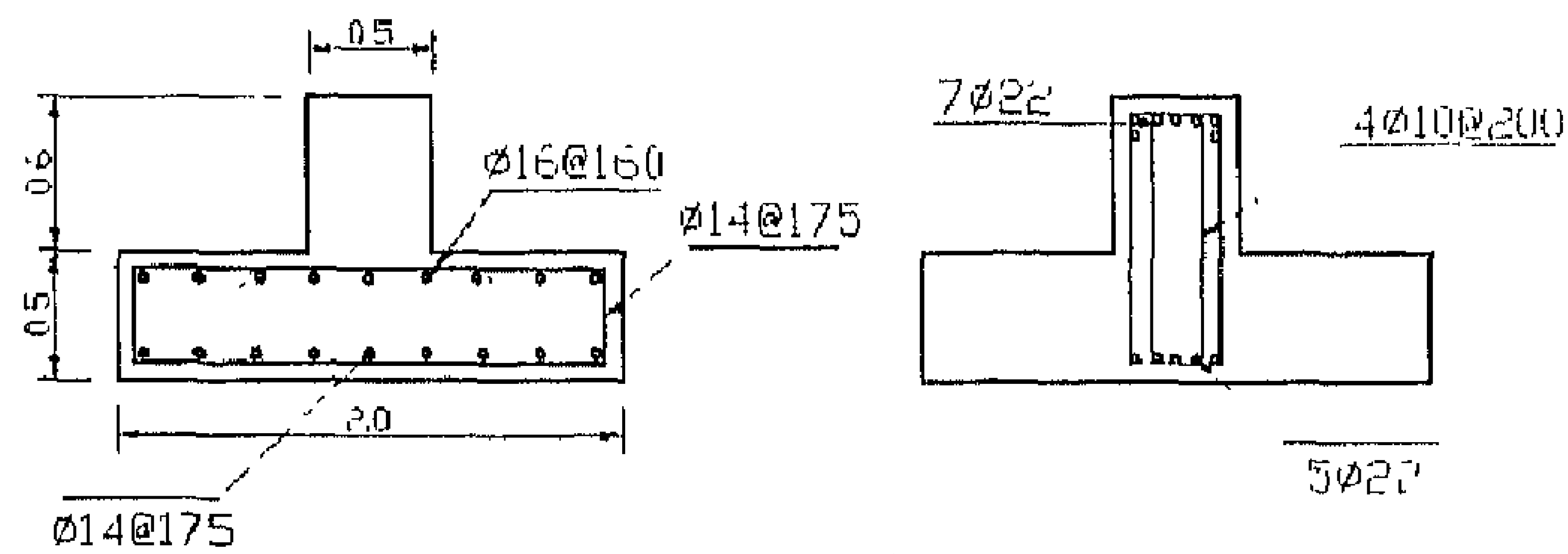


(f) Section C-C

الملحق C2: مخطط التسليح لأساس شريطي تحت صف أعمدة – مقطع T مقلوب – المثال (٣,٥)

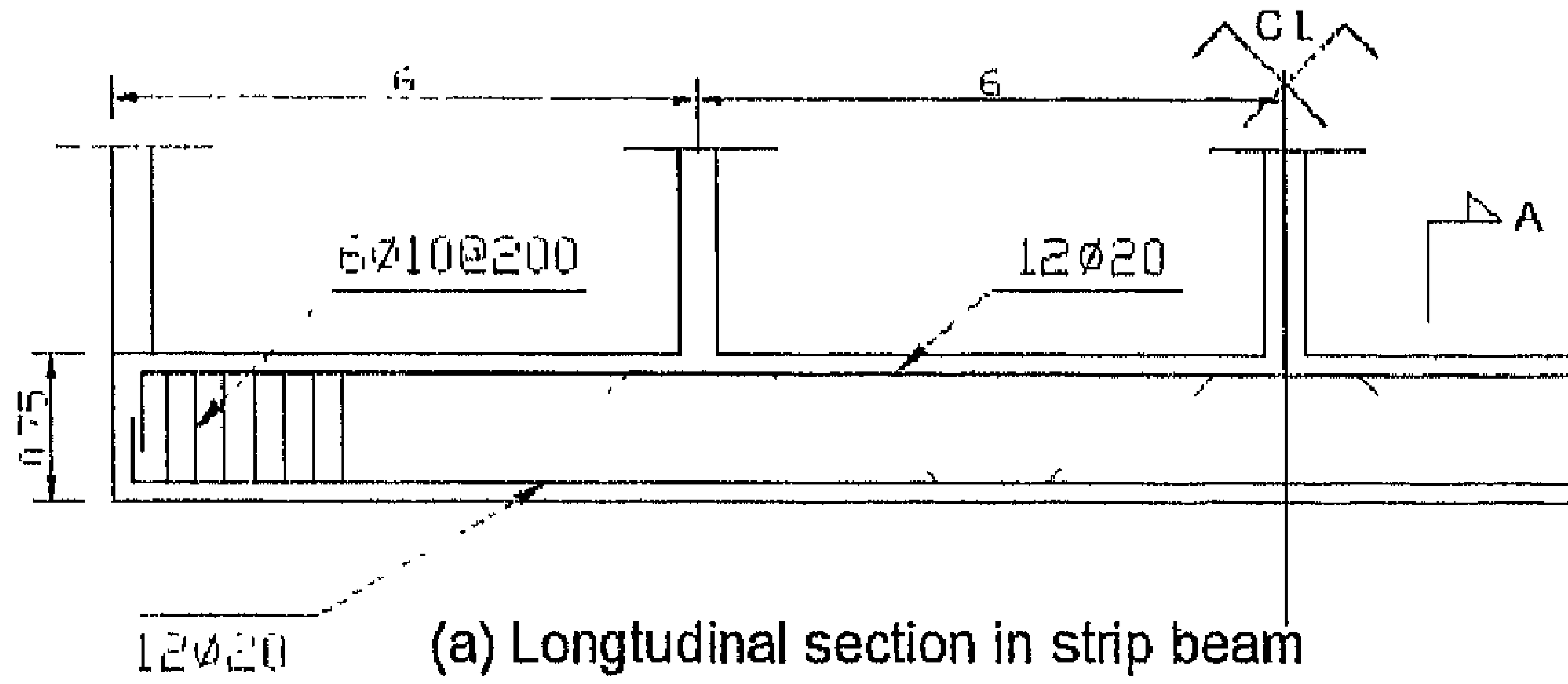


(a) Longtudinal section in inverted T beam

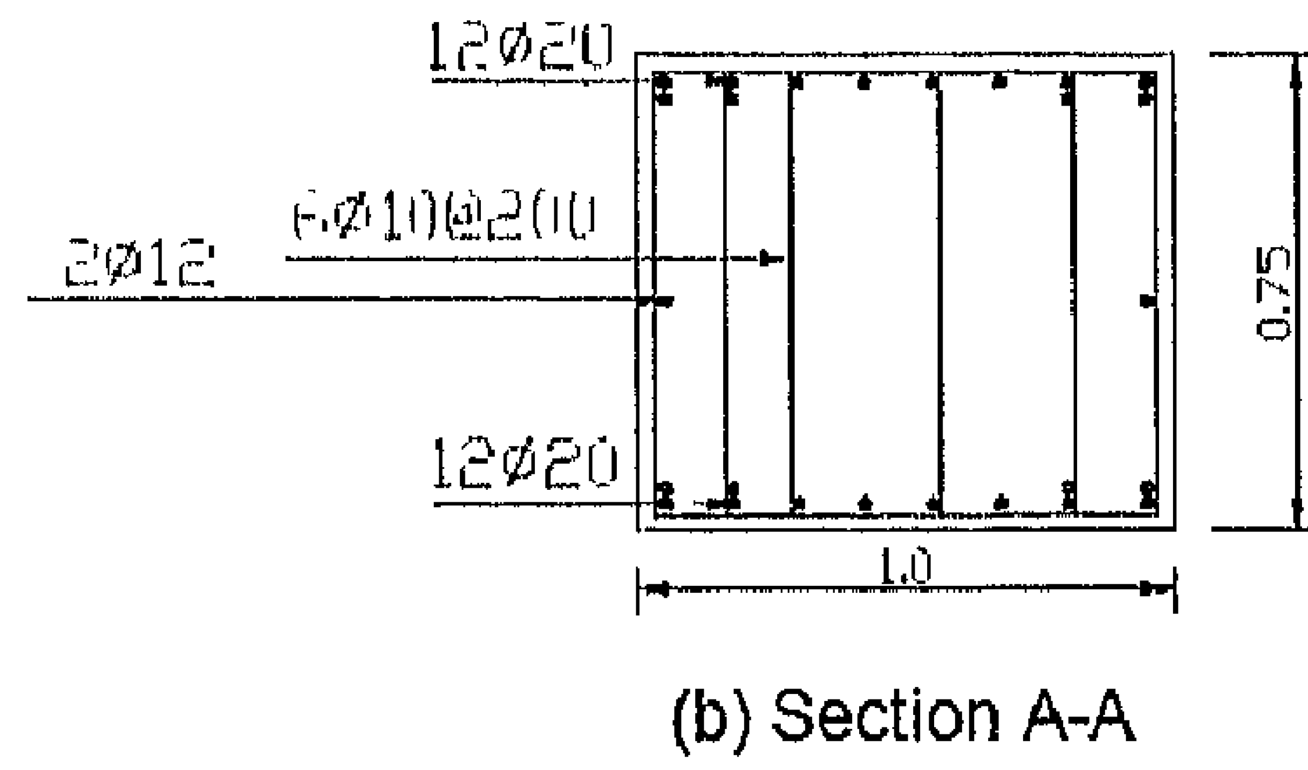


(b) Section A-A

الملحق C3: مخطط التسليح لأساس شريطي تحت صف أعمدة – مقطع مستطيل – المثال (٣,٦)

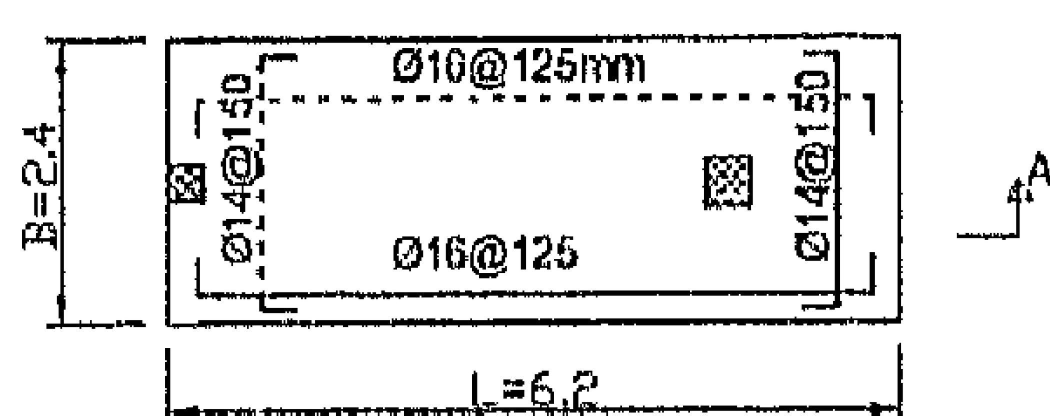


(a) Longtudinal section in strip beam



(b) Section A-A

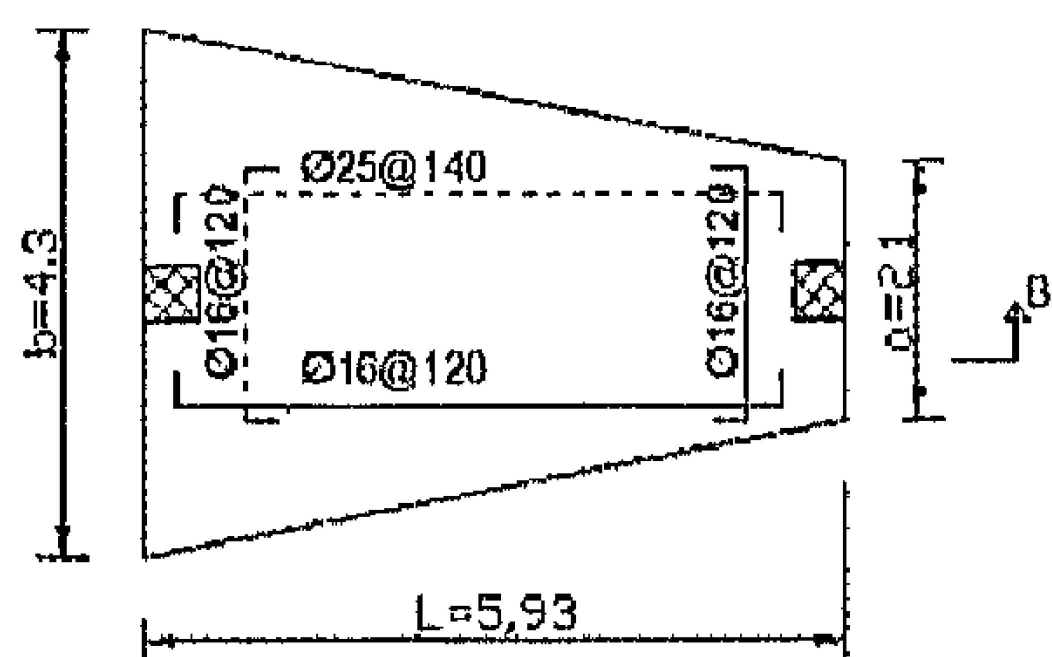
الملحق C4: مخطط التسليح لقاعدة مشتركة مستطيلة – المثال (٤,١) ومخطط التسليح لقاعدة مشتركة بشكل شبه منحرف – المثال (٤,٢)



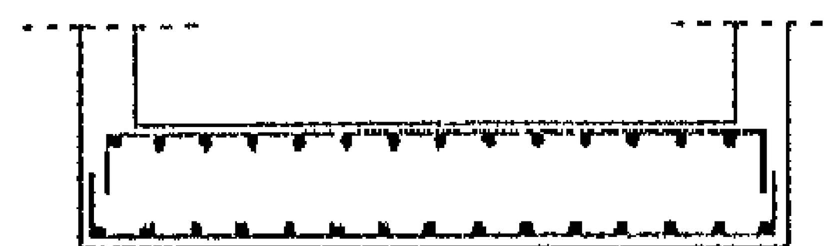
(a) plan of rectangular combined footing (Ex. 4-1)



(b) Section A-A

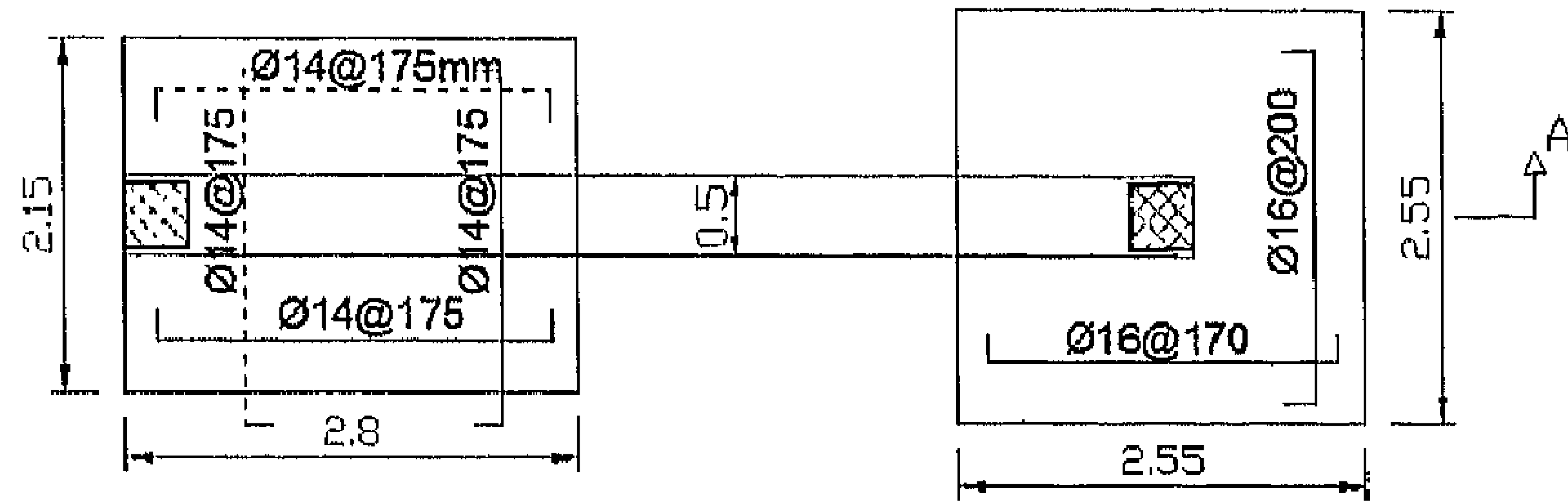


(a) plan of trapezoidal combined footing (Ex 4-2)

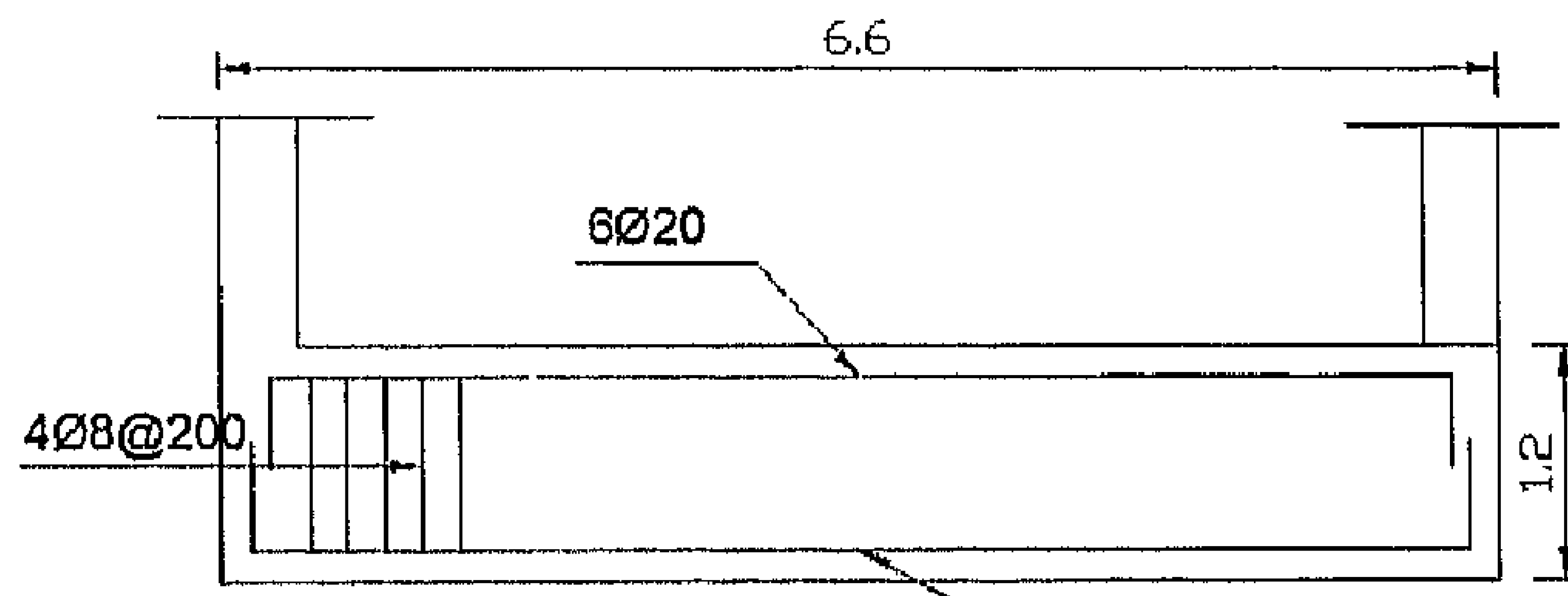


(b) Section B-B

الملحق C5: مخطط التسليح لأساس مشترك بجسر رابط – المثال (٤,٣)

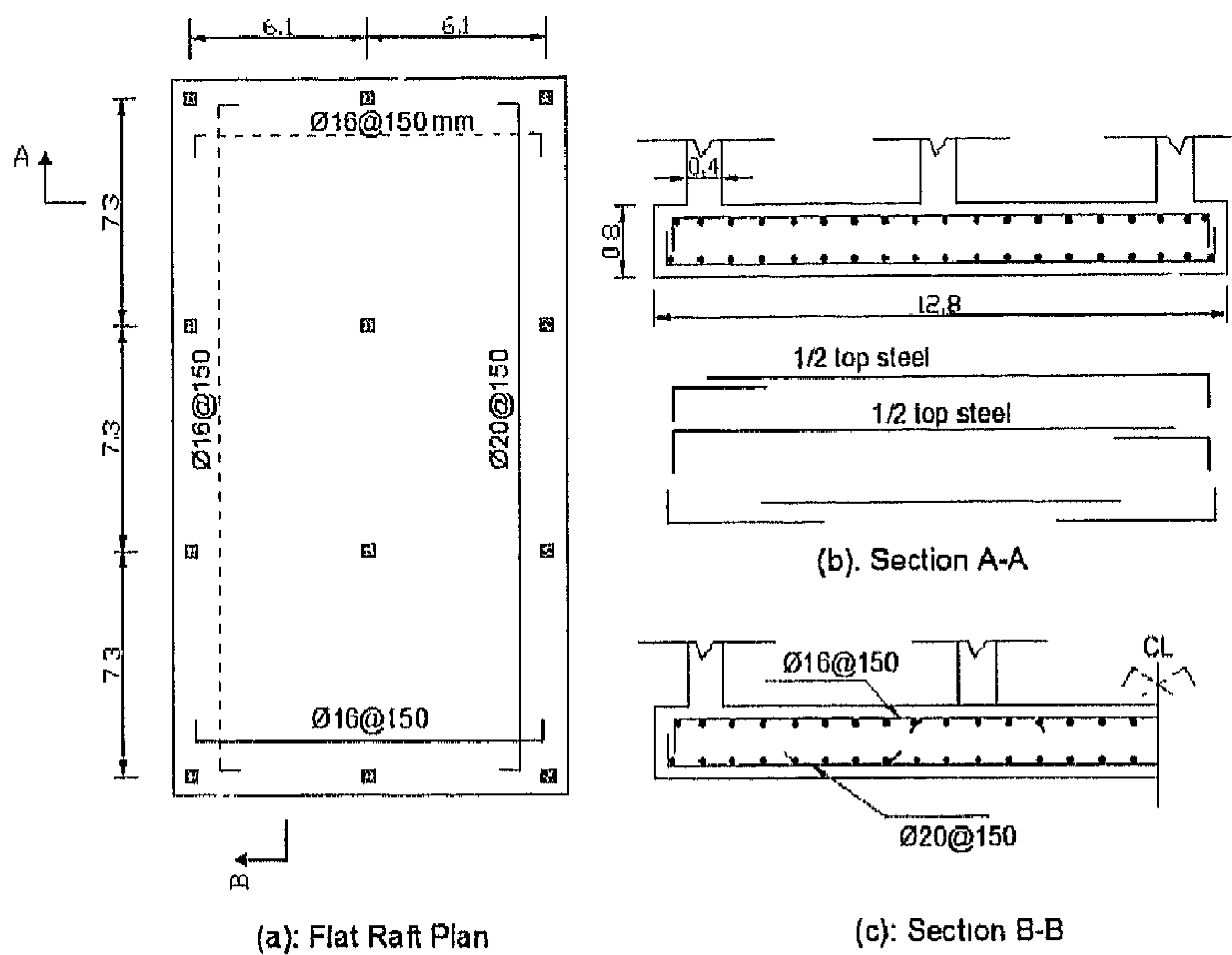


(a): plan of strap beam footing



(b): Section A-A

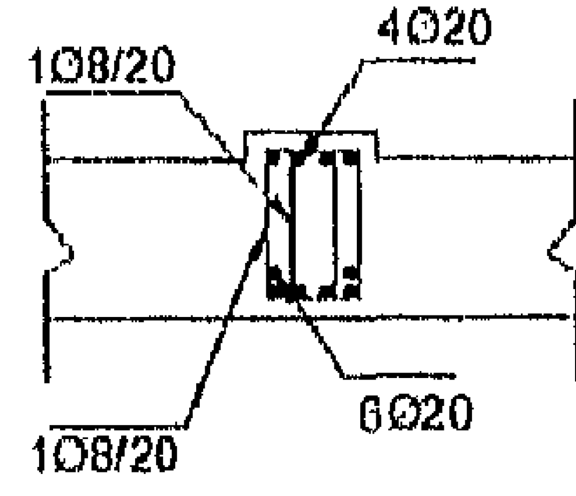
الملحق C6: مخطط التسليح لحصيرة نوع بلاطة منبسطة – المثال (٥,١)



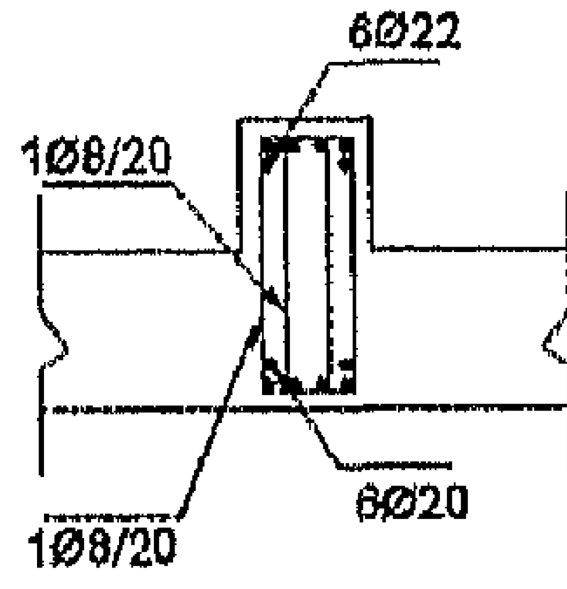
(a): Flat Raft Plan

(c): Section B-B

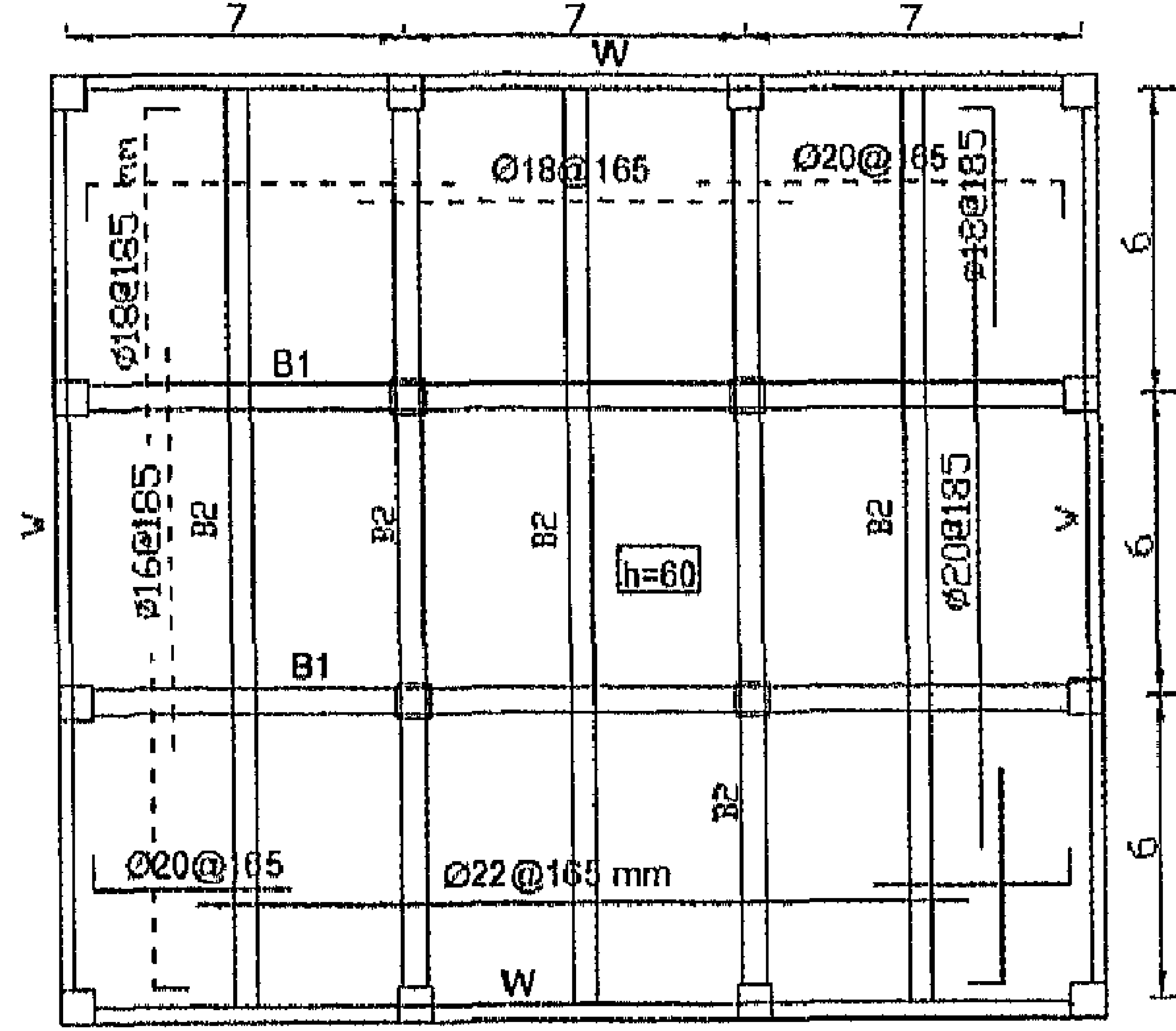
الملحق C7: مخطط التسليح لحصيرة نوع بلاطة مقواة بجسور مقلوبة – المثال (٢,٥)



(b) Section in B1

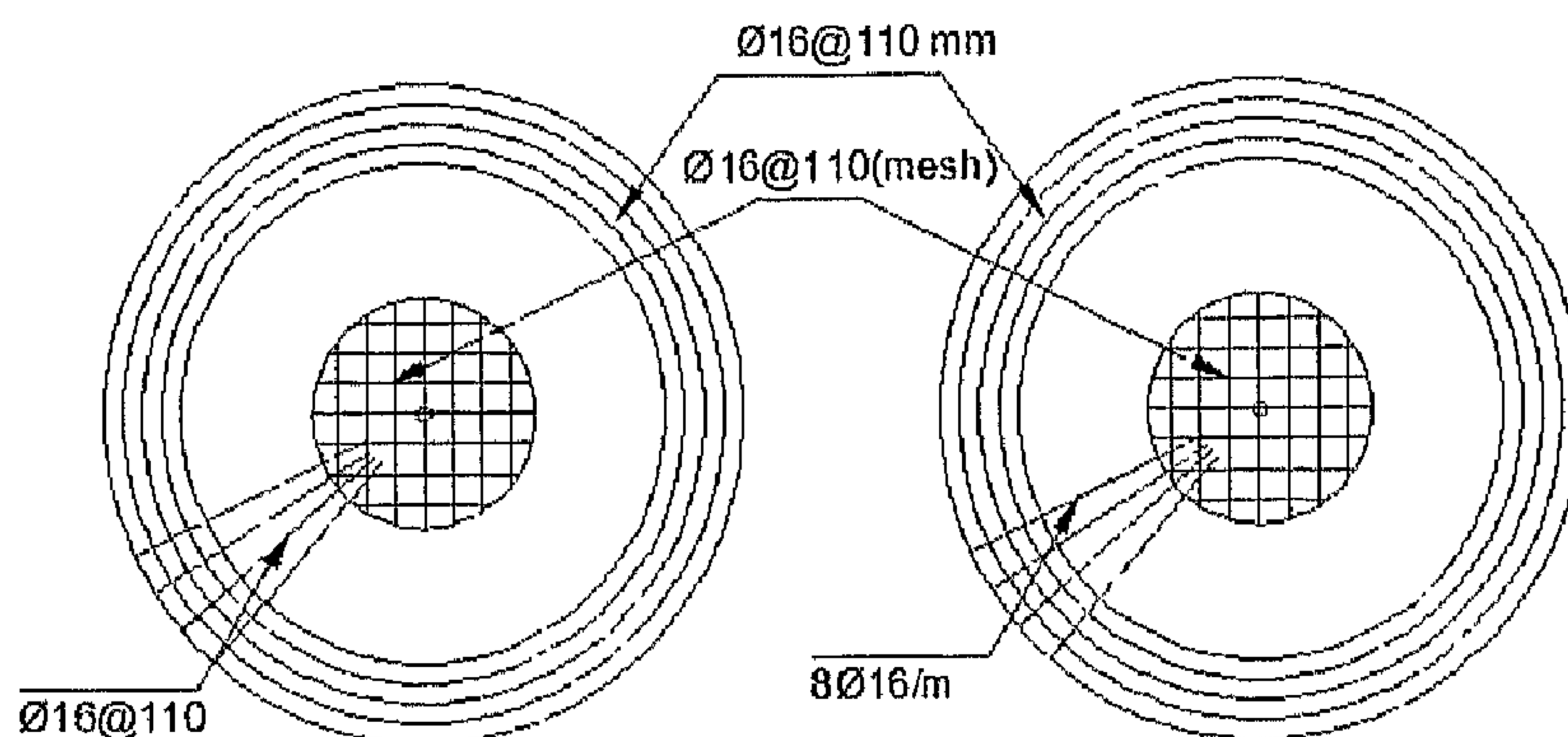


(c) Section in B2

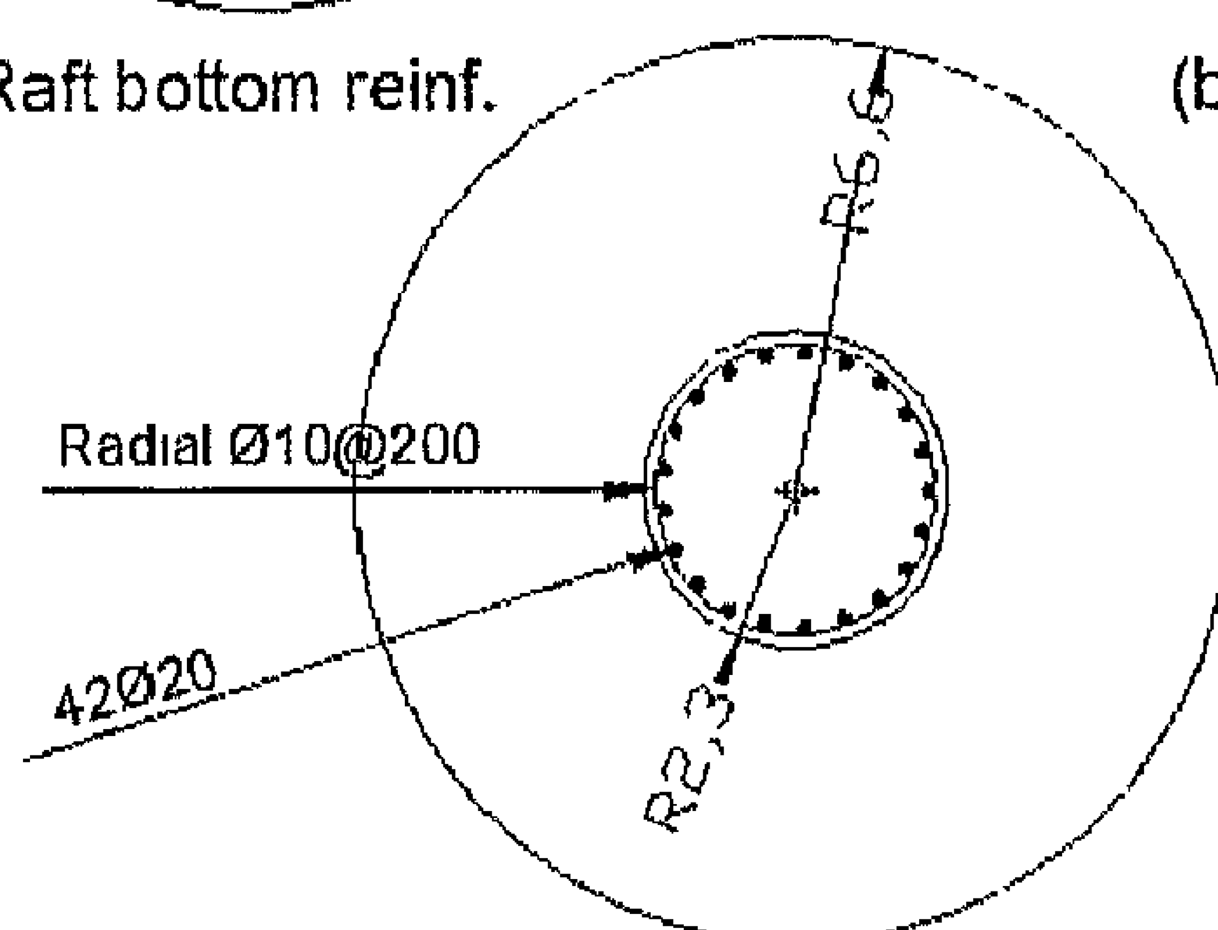


(a) Ribbed raft plan

الملحق C8: مخطط التسليح لحصيرة دائرية – المثال (٤,٥)

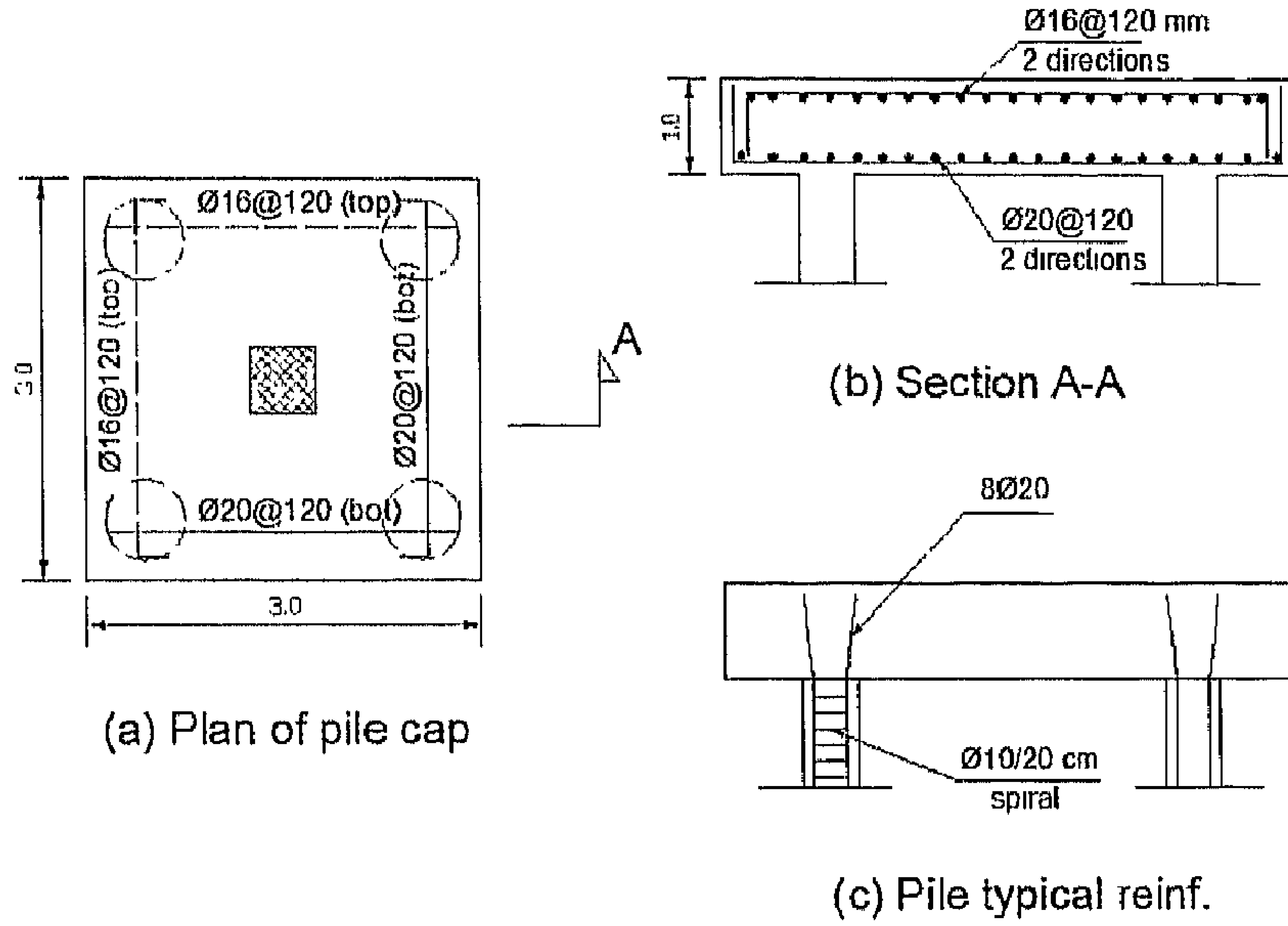


(a) Raft bottom reinf. (b) Raft top reinf.



(c) Pedestal typical reinforcement

الملحق C9: مخطط التسليح لقبعة وتد مع تسليح الوتد النموذجي – المثال (٦,١)

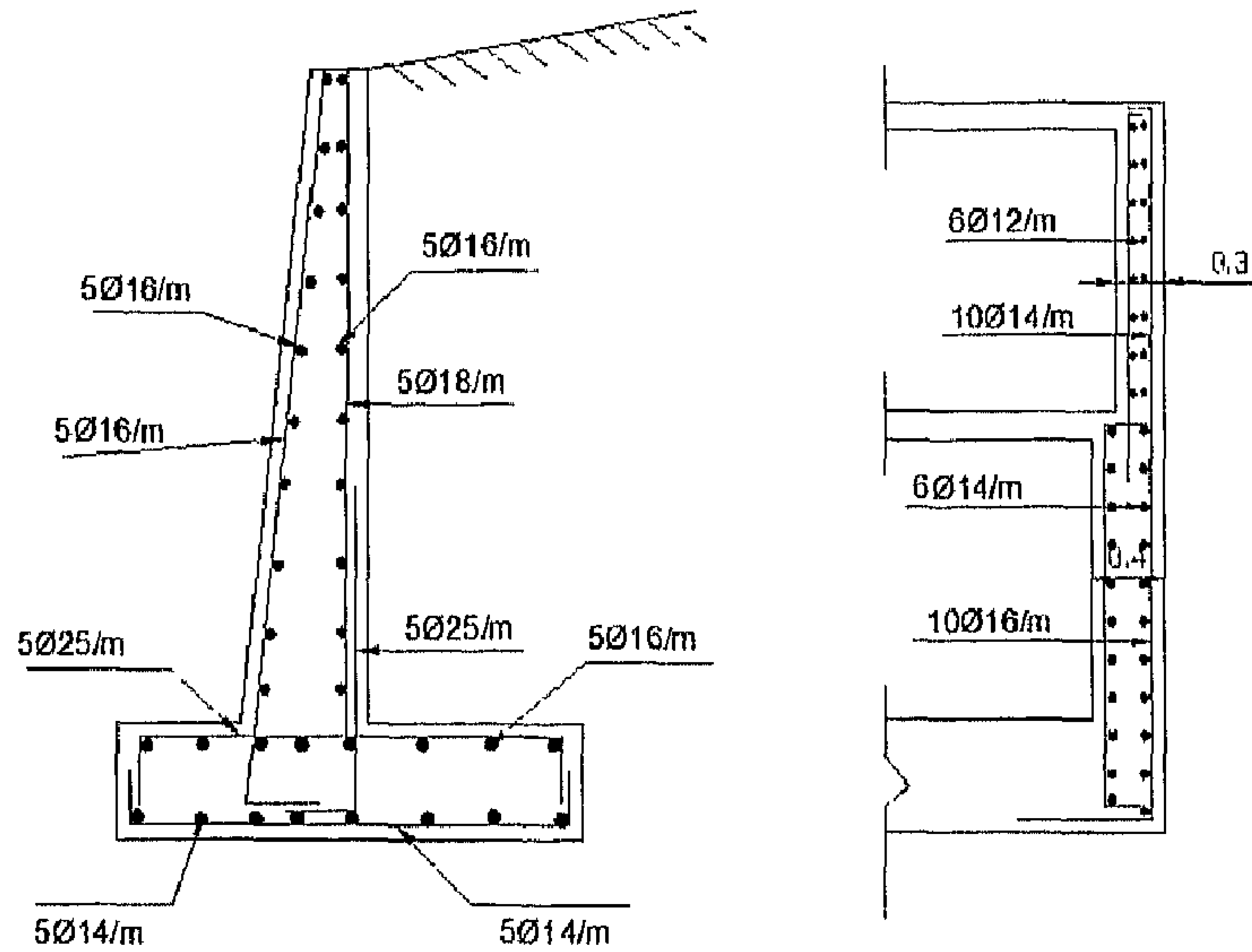


(a) Plan of pile cap

(b) Section A-A

(c) Pile typical reinf.

الملحق C10: مخطط التسليح لجدار ساند – المثال (٧,٢) مخطط التسليح لجدار قبو (طابقين) – المثال (٧,٣)



(a)Reinf. of retaining wall (b)Reinf. of basement wall

الملحق D1: جدول ملفات النماذج التحليلية المتضمنة بالقرص المدمج الملحق

الجدول رقم (٣,م). معلومات ملفات النماذج التحليلية.

م	رقم المثال	الموضوع	البرنامج ورقم الإصدار (نسخة أحدث من)	خطوات النمذجة	ملفات النماذج التحليلية
١	(٢,٧)	تحقيق قاعدة منفصلة معرضة لقوة وعزمين – لامركزية خارج الثلث الأوسط	SAFE V. 8.0.6	–	M1
٢	(٣,٥)	أساس شريطي تحت صف أعمدة (مقطع T مقلوب)	SAFE V. 8.0.6	–	M1, M2
٣	(٣,٦)	أساس شريطي تحت صف أعمدة (مقطع مستطيل)	SAP V. 10.0.1	الملحق B2	M1, M2
٤	(٣,٧)	أساس شريطي تحت صف أعمدة باتجاهين	SAFE V. 8.0.6	–	M1
٥	(٤,١)	قاعدة مشتركة مستطيلة الشكل	SAFE V. 8.0.6	–	M1
٦	(٤,٢)	أساس مشترك لعمودين بشكل شبه منحرف	SAFE V. 8.0.6	–	M1
٧	(٤,٣)	أساس مشترك باستخدام جسر رابط	SAFE V. 8.0.6	–	M1
٨	(٤,٤)	أساس مشترك لثلاثة أعمدة بخيارين (مقطع مستطيل ومقطع T مقلوب)	SAFE V. 8.0.6	–	M1, M2
٩	(٥,١)	حصيرة منبسطة	SAP V. 10.0.1 SAFE V. 8.0.6	الملحق B3	M3 M2
١٠	(٥,٢)	حصيرة نوع "بلاطة مع جسور مقلوبة"	SAFE V. 8.0.6	–	M1

تابع الجدول رقم (٣,م).

م	رقم المثال	الموضوع	البرنامج ورقم الإصدار (نسخة أحدث من)	خطوات النمذجة	ملفات النماذج التحليلية
١١	(٥,٣)	حصيرة خزان عالٍ مربعة الشكل مع تمثيل ارتباط النوابض	SAP V. 10.0.1	–	M1, M2, M3
١٢	(٥,٤)	حصيرة منشأ صناعي دائرية الشكل	SAP V. 10.0.1	الملحق B4	M1
١٣	(٥,٥)	حصيرة جزئية غير منتظمة	SAFE V. 8.0.6	–	M1
١٤	(٦,١)	قاعدة عمود على أربعة أوتاد	SAFE V. 8.0.6	–	M1
١٥	(٦,٢)	قاعدة عمود على ثمانية أوتاد	SAFE V. 8.0.6	الملحق B5	M1
١٦	(٦,٣)	أساس حوائط بيت درج على صف وحيد للأوتاد	SAFE V. 8.0.6	–	M1

المراجع
References

السيد، عبد الفتاح القصبي. *هندسة الأساسات – تصميم وتنفيذ الأساسات السطحية*. القاهرة: دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، ١٩٩٧م.

الكود السوري لتصميم منشآت الخرسانة المسلحة، نقابة المهندسين دمشق، ٢٠٠٣م.

شحرور، محمد؛ التيناوي، فواز؛ قتلان، محمد أيمن. *هندسة الأساسات والجدران الاستنادية – الجزء الأول*. نقابة المهندسين فرع دمشق، ١٩٨٠م.

شحرور، محمد؛ التيناوي، فواز؛ قتلان، محمد أيمن. *هندسة الأساسات والجدران الاستنادية – الجزء الثاني*. نقابة المهندسين فرع دمشق، ١٩٨٠م.

كمال بدرة، مصطفى. *تحليل وتصميم المنشآت باستخدام الحاسب الآلي*. جامعة الملك سعود، الرياض، ٢٠١٠م.

Badrah, M. K. "Observations on structural analysis modeling of ribbed mat foundations", *Research Journal of Aleppo University, Engineering Sciences Series*, No. 56, 2007.

Bowles, J. E. "Foundation Analysis & Design", 5th ed., McGraw-Hill, 2003.

Building Code requirement for structural concrete "ACI-318 08", American Concrete Institute, USA, 2008.

Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02), American Concrete Institute, 2002.

Case, J., Chilver, L. & Ross, C. T. F., "Strength of materials and structures", Arnold, London, 1996.

Das, Braja M., "Principles of foundation engineering", third edition, PWS Publishing Company, 1995.
Hansen, J. B. "A revised & extended formula for bearing capacity", Danish geotechnical Institute, Copenhagen, Denmark, 1970.
http://web.eng.fiu.edu/~prieto/
IBC-2006, International Building Code, International Code Council Inc., 2006.
MacLeod Iain A., "Modern structural analysis: Modeling process & guidance", Thomas Telford, London, 2005.
McCormac J. C., "Design of Reinforced Concrete", Third Edition, Harper Collins College Publisher, 2006.
Peck R. B., Hansen W. E. & Thornburn T. H. "Foundation engineering, 2ed. Edition", 1974.
SAP 2000, CSI Analytical Reference Manual, Computers & Structures Inc., Berkeley, USA, 2005.
Suggested analysis & design procedures for combined footings and mats "ACI-336.2R 88", American Concrete Institute, USA, reapproved 2002.
Timoshenko S. & Woinowsky-Krieger S. "Theory of plates & shells, 2ed. Edition", McGraw-Hill, New York, 1959.
Uniform Building Code 'UBC 97', International Conference of Building Officials, USA, 1997.
Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L., The Finite Element Method, McGraw-Hill, 2003.

قائمة منشورات المؤلف

List of Author Publications

كمال بدرة، مصطفى. تحليل وتصميم المنشآت باستخدام الحاسب الآلي. جامعة الملك سعود، الرياض، ٢٠١٠م.

Badrah, M. K. (2007). "Observations on structural analysis modeling of ribbed mat foundations", *Research Journal of Aleppo University, Engineering Sciences Series*, No. 56.
Badrah, M. K. (2003) "Design of concrete structures for temperature loading", First International Conference of Concreting and High Performance Concrete, ACI-KC, Kuwait. 28 Sep. 1 Oct. 2003.
Badrah, M. K. Behavior of Structures Under Thermal Effects, Proc. Of the 9th Arab Structural Engineering Conf. Nov. 29-Dec 1, 2003, Abu Dhabi, UAE, pp. 987-993.
Badrah, M. K., MacLeod, I.A., and Kumar, B. (2000) "Design processing of regular and non-standard structural components", Journal of Computing in Civil Engineering, October, 2000, American Society of Civil Engineers, ASCE.
Badrah, M. K., MacLeod, I. A. and Kumar, B. (1999) "A model for regular and non-standard component design processing", *Proceedings of the six workshop of*

European Group of Structural Engineering Applications of Artificial Intelligence (EG-SEA-AI), held at Wierzba, Poland, September 18-21, pp. 62-65.

Badrah, M. K., MacLeod, I. A. and Kumar, B. (1999). "Utilizing graphics packages capabilities for processing of generic provisions in design standards", *Novel design and information technology applications for civil and structural engineering, AICivil-Comp Conference*, Oxford, England, September 13-15, pp. 59-61.

Badrah, M. K. (1998) "Rule-based approach for design standards scope representation", *Proceedings. of the International Computing Congress held in Conjunction with 1998 ASCE Annual Convention & Exhibition*, October 18-21, Boston, Mass, USA, pp. 88-91.

Badrah, M. K., MacLeod, I. and Kumar, B. (1998). "Object-oriented software patterns for engineering design standards processing", *in Ian Smith (Ed.): Artificial intelligence in structural engineering -Information technology for design, collaboration, maintenance and monitoring,* Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 19-29.

Badrah, M. K., MacLeod, I.A., and Kumar, B. (1998) "Using object-communication for design standards modeling", *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, 12(3), pp. 153-161.

ثبت المصطلحات
Glossary

أولاً: عربي – إنجليزي



Tension Stress	إجهاد شد
Friction	الاحتكاك
Pile Integrity Test	اختبار تكامل الأوتاد
Spring Coupling	ارتباط النوابض
Effective Depth	الارتفاع الفعال
Point Bearing	الارتكاز النقطي
Strip (Continuous) Footing	الأساس الشريطي
Strip Footing Under Row of Columns	الأساس الشريطي تحت صف الأعمدة
Strip (Continuous) Foundation	الأساس المستمر (الشريطي)
Beam on Elastic Foundation	الأساس المستند على مساند مرنة

Irregular Strip Footing	أساس شريطي غير منتظم
Stepped Footing	أساس متدرج الارتفاع
Combined Footing	أساس مشترك
Trapezoidal Combined Footing	أساس مشترك بشكل شبه منحرف
Shallow Foundations	الأساسات السطحية
Deep Foundations	الأساسات العميقة
Soil Explorations	استكشاف التربة
Sliding	الانزلاق
Overturning	الانقلاب

ب

Slab on Grade	البلاطة الأرضية
Thick Plate	بلاطة سميكة
Stair Case	بئر الدرج ، بيت الدرج

ت

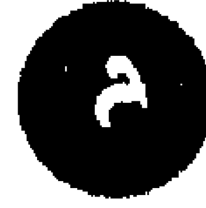
Plate Load Test	تجربة تحميل الصفيحة
Site Investigations	تحري الموقع
Non-linear Iterative Uplift Analysis	التحليل اللاخطي التكراري لقوى الرفع
Ultimate Soil Capacity	تحمل التربة الكلي

Allowable Bearing Capacity	تحمل التربة المسموح
Net Soil Bearing Capacity	تحمل التربة المسموح الصافي
Pile Bearing Capacity	تحمل الوتد المسموح
Soil-structure Interaction	تداخل المنشأ مع التربة
Grain-size Distribution	التدرج الحبيبي
Granular Backfilling	تربة الردم الحبيبية
Collapsible Soil	التربة القابلة للانتفاخ
Collapsible Soil	التربة القابلة للانهيار
Load Combination	تركيب الأحمال
Radial Reinforcement	التسليح الشعاعي
Flexural Reinforcement	التسليح الطولي لمقاومة عزم الانحناء
Tangential Reinforcement	التسليح القوسي
Soil Classification	تصنيف التربة
Soil Mechanics Report	تقرير ميكانيك التربة
Cohesion	التماسك

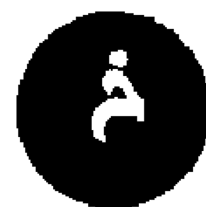


Semi-gravity Retaining Wall	جدار ساند نصف كتلي
Counter-fort Retaining Wall	جدار ذو دعامات
Basement Wall	جدار قبو، جدار بدروم
Boreholes	الجسة، السبر

جهد القص الحدي	Ultimate Shear Force



الحائط الساند	Retaining Wall
الحائط الساند الكابولي	Cantilever Wall
حائط ساند كتلي	Gravity Retaining Wall
حد الرطوبة	Liquid Limit
حد اللدونة	Plastic Limit
حصيرة "بلاطة منبسطة"	Flat Raft
الحصيرة الدائرية	Circular Raft
حصيرة مقواة بجسور	Ribbed Raft
الحمل	Load
الحمل (الحمولة) الميت	Dead Load
الحمل الحي	Live Load
حمل الرفع	Uplift Load
الحمل الموزع بانتظام	Uniformly-distributed Load



الخرسانة العادية	Plain Concrete
خزان عالي	Elevated Tank

ر

Foundation Drawings	رسومات الأساسات
Pedestal	رقبة العمود

ز

Angle of Friction	زاوية الاحتكاك

ش

Automatic Mesh	شبكة مقسمة بشكل آلي

ص

Spring Stiffness	صلابة النابض

ض

Passive Earth Pressure	ضغط التربة العكسي
Active Earth Pressure	ضغط التربة المباشر
Contact Soil Pressure	ضغط التماس على التربة
Lateral Earth Pressure	الضغط الجانبي للتربة

الضغط الجانبي للتربة أثناء الراحة	Lateral Earth Pressure At Rest

ط

طريقة التحليل الصلبة	Rigid Analysis Method
طريقة العناصر المحدودة	Finite Element Method
طول التلاحم (الإرساء)	Development Length

ع

عامل الأمان	Safety Factor
عزم الانحناء، عزم الانعطاف	Bending Moment
عزم القصور الذاتي(عزم العطالة)	Moment of Inertia
عملية النمذجة	Modeling Process
عنصر إطاري	Frame (Beam) Element
العنصر الرباعي	Quadrilateral Element
العنصر الصفائحي	Shell Element
عنصر رباعي	Quadrilateral Element
عنصر صفائحي	Shell Element

ف

فحوصات التربة	Soil Investigation

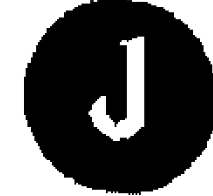
ق

Spread (Isolated) Footing	القاعدة المنفصلة (المنعزلة)
False Footing	القاعدة الوهمية (المخدة)
Property-line Footing	قاعدة طرفية، قاعدة جوار
Pile Cap	قبعة الأوتاد
One-way Shear	القص أحادي الاتجاه
Punishing Shear	القص المباشر (القص بالثقب)
Two-way Shear	القص ثنائي الاتجاه
Con-tributary (Tributary) Soil Area	قطاع التربة المحدد
Force	قوة
Shear Force	قوة القص
Axial Force	قوة محورية
Normal Force	قوة رأسية (ناظمية)
Restraints	قيود المساند

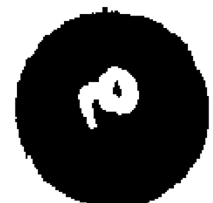
ك

Pile Group Efficiency	كفاءة مجموعة الأوتاد
Beam	كمرة (جائز)
Ground (Grade) Beam	الكمرة الأرضية

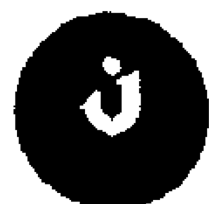
الكمرة الرابطة (الجسر الرابط)	Strap Beam
كمرة عميقة ، جسر عميق	Deep Beam



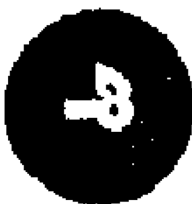
اللامركزية	Eccentricity



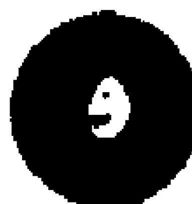
مجموعة الأوتاد	Pile Group
محصلة الأحمال	Load Resultant
مخطط الجسم الطليق	Free Body Diagram
مركز الجاذبية (الكتلة)	Centre of Gravity (Centre of Mass)
مستطيل الضغط المكافئ	Equivalent Rectangle Pressure
معامل رد فعل التربة	Modulus of Sub-grade Reaction
مقاومة الخرسانة الحدية	Ultimate Concrete Strength
المنشآت العائمة	Offshore Platforms
منطقة التأثير	Influence Area



النموذج التحليلي	Analytical Model
نواة المصعد	Elevator Core



الهبوط	Settlement
الهبوط النسبي (التفاضلي)	Deferential Settlement
الهبوط قصير المدى	Short-term Deflection



الوتد، الخازوق	Pile

ثانيًا: إنجليزي – عربي

A

Active Earth Pressure	ضغط التربة المباشر
Allowable Bearing Capacity	تحمل التربة المسموح
Analytical Model	النموذج التحليلي
Angle of Friction	زاوية الاحتكاك
Automatic Mesh	شبكة مقسمة بشكل آلي
Axial Force	قوة محورية

B

Basement Wall	جدار قبو، جدار بدروم
Beam	كمرة (جائز)
Beam on Elastic Foundation	الأساس المستند على مساند مرنة
Bending Moment	عزم الانحناء، عزم الانعطاف
Boreholes	الجسة، السبر

C

Cantilever Wall	الحائط الساند الكابولي
Centre of Gravity (Centre of Mass)	مركز الجاذبية (الكتلة)

Circular Raft	الحصيرة الدائرية
Cohesion	التماسك
Collapsible Soil	التربة القابلة للانتفاخ
Collapsible Soil	التربة القابلة للانهيار
Combined Footing	أساس مشترك
Contact Soil Pressure	ضغط التماس على التربة
Con-tributary (Tributary) Soil Area	قطاع التربة المحدد
Counter-fort Retaining Wall	جدار ساند ذو دعامات

D

Dead Load	الحمل (الحمولة) الميت
Deep Beam	كمرة عميقة ، جسر عميق
Deep Foundations	الأساسات العميقة
Deferential Settlement	الهبوط النسبي (التفاضلي)
Development Length	طول التلاحم (الإرساء)

E

Eccentricity	اللامركزية
Effective Depth	الارتفاع الفعال
Elevated Tank	خزان عالي

Elevator Core	نواة المصعد
Equivalent Rectangle Pressure	مستطيل الضغط المكافئ

F

False Footing	القاعدة الوهمية (المخدة)
Finite Element Method	طريقة العناصر المحدودة
Flat Raft	حصيرة "بلاطة منبسطة"
Flexural Reinforcement	التسليح الطولي لمقاومة عزم الانحناء
Force	قوة
Foundation Drawings	رسومات الأساسات
Frame (Beam) Element	عنصر إطاري
Free Body Diagram	مخطط الجسم الطليق
Friction	الاحتكاك

G

Grain-size Distribution	التدرج الحبيبي
Granular Backfilling	تربة الردم الحبيبية
Gravity Retaining Wall	حائط ساند كتلي
Ground (Grade) Beam	الكمرة الأرضية

I

Influence Area	منطقة التأثير
Irregular Strip Footing	أساس شريطي غير منتظم

L

Lateral Earth Pressure	الضغط الجانبي للتربة
Lateral Earth Pressure At Rest	الضغط الجانبي للتربة أثناء الراحة
Liquid Limit	حد الرطوبة
Live Load	الحمل الحي
Load	الحمل
Load Combination	تركيب الأحمال
Load Resultant	محصلة الأحمال

M

Modeling Process	عملية النمذجة
Modulus of Sub-grade Reaction	معامل رد فعل التربة
Moment of Inertia	عزم القصور الذاتي(عزم العطالة)

N

Net Soil Bearing Capacity	تحمل التربة المسموح الصافي
Non-linear Iterative Uplift Analysis	التحليل اللاخطي التكراري لقوى الرفع
Normal Force	قوة رأسية (ناظمية)

O

Offshore Platforms	المنشآت العائمة
One-way Shear	القص أحادي الاتجاه
Overturning	الانقلاب

P

Passive Earth Pressure	ضغط التربة العكسي
Pedestal	رقبة العمود
Pile	الوتد، الخازوق
Pile Bearing Capacity	تحمل الوتد المسموح
Pile Cap	قبعة الأوتاد
Pile Group	مجموعة الأوتاد
Pile Group Efficiency	كفاءة مجموعة الأوتاد
Pile Integrity Test	اختبار تكامل الأوتاد

Plain Concrete	الخرسانة العادية
Plastic Limit	حد اللدونة
Plate Load Test	تجربة تحميل الصفيحة
Point Bearing	الارتكاز النقطي
Property-line Footing	قاعدة طرفية، قاعدة جوار
Punishing Shear	القص المباشر (القص بالثقب)

Q

Quadrilateral Element	العنصر الرباعي
Quadrilateral Element	عنصر رباعي

R

Radial Reinforcement	التسليح الشعاعي
Restraints	قيود المساند
Retaining Wall	الحائط الساند
Ribbed Raft	حصيرة مقواة بجسور
Rigid Analysis Method	طريقة التحليل الصلبة

S

Safety Factor	عامل الأمان

جدار استنادي نصف كتلي	Semi-gravity Retaining Wall
الهبوط	Settlement
الأساسات السطحية	Shallow Foundations
قوة القص	Shear Force
العنصر الصفائحي	Shell Element
عنصر صفائحي	Shell Element
الهبوط قصير المدى	Short-term Deflection
تحري الموقع	Site Investigations
البلاطة الأرضية	Slab on Grade
الانزلاق	Sliding
تصنيف التربة	Soil Classification
استكشاف التربة	Soil Explorations
فحوصات التربة	Soil Investigation
تقرير ميكانيك التربة	Soil Mechanics Report
تداخل المنشأ مع التربة	Soil-structure Interaction
القاعدة المنفصلة (المنعزلة)	Spread (Isolated) Footing
ارتباط النوابض	Spring Coupling
صلابة النابض	Spring Stiffness
بئر الدرج ، بيت الدرج	Stair Case
أساس متدرج الارتفاع	Stepped Footing
الكمرة الرابطة (الجسر الرابط)	Strap Beam

Strip (Continuous) Footing	الأساس الشريطي
Strip (Continuous) Foundation	الأساس المستمر (الشريطي)
Strip Footing Under Row of Columns	الأساس الشريطي تحت صف الأعمدة

T

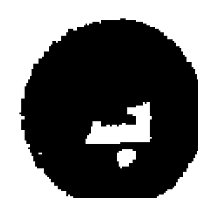
Tangential Reinforcement	التسليح القوسي
Tension Stress	إجهاد شد
Thick Plate	بلاطة سميكة
Trapezoidal Combined Footing	أساس مشترك بشكل شبه منحرف
Two-way Shear	القص ثنائي الاتجاه

U

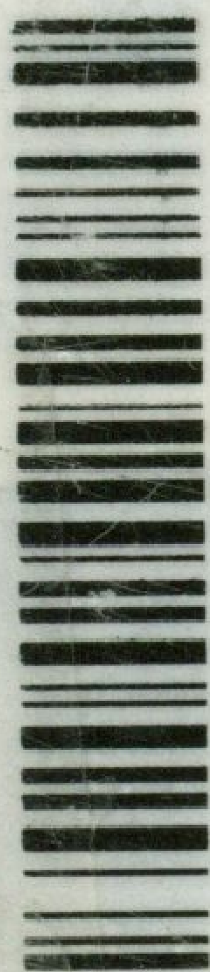
Ultimate Concrete Strength	مقاومة الخرسانة الحدية
Ultimate Shear Force	جهد القص الحدي
Ultimate Soil Capacity	تحمل التربة الكلي
Uniformly-distributed Load	الحمل الموزع بانتظام
Uplift Load	حمل الرفع

كشاف الموضوعات
Index









www.ksu.edu.sa

ISBN 9789960559360
